

11

CLIMATOLOGIA

ADRIANO BARBI¹, MARCO MONAI¹, ROBERTA RACCA¹, FRANCESCO RECH¹**11.1. GENERALITÀ**

Il clima viene tradizionalmente considerato come lo stato medio dell'atmosfera in una determinata località riferito a un lungo periodo di tempo (fissato convenzionalmente in un trentennio). Le caratteristiche climatiche di una certa zona sono il risultato dell'interazione fra le componenti meteorologiche e quelle geo-topografiche riscontrabili nel territorio in esame. Formulazioni più moderne e raffinate definiscono il clima come sintesi delle distribuzioni di probabilità dei fenomeni meteorologici, misurabili mediante la determinazione delle frequenze degli eventi registrati in passato.

In questo capitolo viene presentato un inquadramento delle principali caratteristiche climatiche della provincia di Venezia sulla base di un precedente lavoro commissionato nel 2001 dalla Provincia di Venezia all'ARPAV – Centro Meteorologico di Teolo.

Nel presente studio si troverà una preliminare sintesi delle caratteristiche generali del clima in Veneto e nella provincia di Venezia, cui seguiranno delle analisi più approfondite relative alle principali variabili meteorologiche registrate sul territorio in esame e osservando la loro distribuzione spaziale.

Per quanto riguarda, in particolare, le analisi dei *valori medi di temperatura e precipitazione*, esse sono riferite al trentennio 1971÷2000; gli *eventi di precipitazione intensa* invece sono stati analizzati, secondo un approccio probabilistico, sulla base dei dati raccolti dalla rete ARPAV nel periodo 1992÷2010. Infine, per quanto concerne i *venti*, si sono analizzati sia i dati medi, in termini di velocità e direzione prevalente (rose dei venti), sia i dati massimi di raffica giornaliera registrati presso alcune stazioni della rete ARPAV rappresentative del territorio provinciale.

11.2. CARATTERISTICHE GENERALI DEL CLIMA VENETO E DELLA PROVINCIA DI VENEZIA

Il clima del Veneto, pur rientrando nella tipologia mediterranea, presenta proprie peculiarità, dovute principalmente al fatto di trovarsi in una posizione climatologicamente di transizione, sottoposta per questo a varie influenze: l'azione mitigatrice delle acque mediterranee, l'effetto orografico della catena alpina e la continentalità dell'area centro-europea. In ogni caso sono molto attenuate alcune delle caratteristiche tipicamente mediterranee, quali l'inverno mite e la siccità estiva.

Nel territorio della provincia di Venezia, che si estende lungo la fascia costiera dell'Alto Adriatico, dalla foce

del Tagliamento a nord a quella dell'Adige a sud, si possono distinguere in particolare due grandi zone, contraddistinte da caratteristiche climatiche diverse a causa della differente azione che esercita il mare su tali territori: la zona litoranea, più prossima al mare, e la zona interna, con caratteristiche più simili a quelle della pianura continentale.

Nella zona litoranea l'azione mitigatrice delle acque risulta però limitata: da una parte in quanto si è in presenza di un mare interno, stretto e poco profondo, dall'altra per la loro posizione, in grado di mitigare solo le masse d'aria provenienti dai settori sud-orientale e orientale. Così le temperature invernali, pur mitigate, risultano comunque basse, in particolare per le incursioni della bora, fredda e asciutta da nord-est. Inoltre la fascia litoranea è caratterizzata dall'alternanza di brezze tipiche del periodo caldo in situazioni prevalentemente anticicloniche.

La zona interna comprende quelle aree della provincia di Venezia più distanti dalla costa, che corrispondono ai comprensori più interni del portogruarese, a nord-est, del miranese e della riviera del Brenta, a ovest. In queste aree l'azione mitigatrice del mare diventa meno significativa accentuando quelle caratteristiche climatiche più tipiche della pianura veneta. Tale zona è quindi contraddistinta da un clima di tipo un po' più continentale, con estati leggermente più calde e inverni leggermente più rigidi rispetto alle zone litoranee. La ventilazione risulta mediamente più limitata soprattutto nei regimi di brezza del periodo caldo, mentre sul fronte delle precipitazioni in estate vi sono temporali piuttosto frequenti e spesso grandinigeni. Prevale in inverno una situazione di inversione termica che, accentuata da una ventosità più limitata, favorisce l'accumulo dell'umidità, che dà luogo alle nebbie, e l'aumento della concentrazione degli inquinanti rilasciati al suolo, che arrivano di frequente a valori elevati nelle aree urbane.

Tipiche peculiarità del clima della provincia di Venezia sono:

- la nebbia, presente soprattutto nei mesi autunnali e invernali, anche se nell'area costiera può manifestarsi pure nella prima della primavera;
- l'afa nei mesi estivi;
- l'attività temporalesca, specie in estate e inizio autunno, associata a precipitazioni intense, talvolta anche grandinogene e, seppur più raramente, anche a trombe d'aria;
- i venti di Bora e di Scirocco.

¹ ARPAV, Dipartimento Sicurezza del Territorio - Centro Meteorologico di Teolo (PD).

11.3. ANALISI DEI DATI

Lo studio delle caratteristiche meteo-climatiche del territorio della provincia di Venezia è stato eseguito attraverso l'analisi e l'elaborazione dei principali parametri meteorologici registrati dalle stazioni disponibili, anche in territori esterni alla provincia. L'indagine ha riguardato in particolare i dati medi di precipitazione e temperatura per il periodo 1971÷2000 (trentennio di riferimento climatico) utilizzando sia i dati provenienti dalle serie storiche disponibili e in gran parte appartenenti alla rete di stazioni dell'ex Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale (SIMN), sia dalla serie di dati della rete ARPAV. Per le precipitazioni di massima intensità e per il vento sono stati analizzati i dati raccolti dalla rete regionale di monitoraggio del Centro Meteorologico di Teolo, attiva dal 1992, in quanto per il trentennio 1971÷2000 i dati di ventosità non sono disponibili (se non per la sola stazione di Venezia), mentre per le precipitazioni di massima intensità i dati storici non presentano una continuità e una distribuzione sul territorio ritenuti accettabili.

Relativamente alle caratteristiche pluviometriche e termometriche, si sono voluti rappresentare i principali risultati delle elaborazioni eseguite attraverso delle carte di distribuzione delle precipitazioni e delle temperature, valide per il territorio provinciale. Per la costruzione delle carte di distribuzione si è fatto ricorso al calcolo dei valori di interesse a livello puntuale (medie mensili, stagionali o annue calcolate su tutte le stazioni disponibili del territorio regionale) con successiva estensione areale mediante interpolazione spaziale (secondo la metodologia del *kriging*) e focalizzazione dei risultati sul solo territorio della provincia di Venezia.

Nella Fig. 11.1 viene rappresentato un esempio di stazione meteorologica dell'ARPAV, mentre nella Fig. 11.3 sono raffigurati i sensori delle stazioni meteorologiche ARPAV relativamente alle caratteristiche dei pluviometri per la misura della precipitazione.



Fig. 11.1 - Esempio di stazione meteorologica: foto della stazione di Cavallino Treporti (fonte: ARPAV).

11.4. PRECIPITAZIONI

11.4.1. Precipitazioni medie annuali e stagionali

Per valutare l'andamento delle precipitazioni nel corso dell'anno sono stati analizzati i dati disponibili delle cumulate medie di pioggia a livello annuale e stagionale per il trentennio 1971÷2000 (Figg. 11.2A e 11.2B).



Fig. 11.2A - Localizzazione delle stazioni meteorologiche ARPAV utilizzate per l'analisi delle precipitazioni medie registrate sul territorio provinciale nel periodo 1971÷2000.

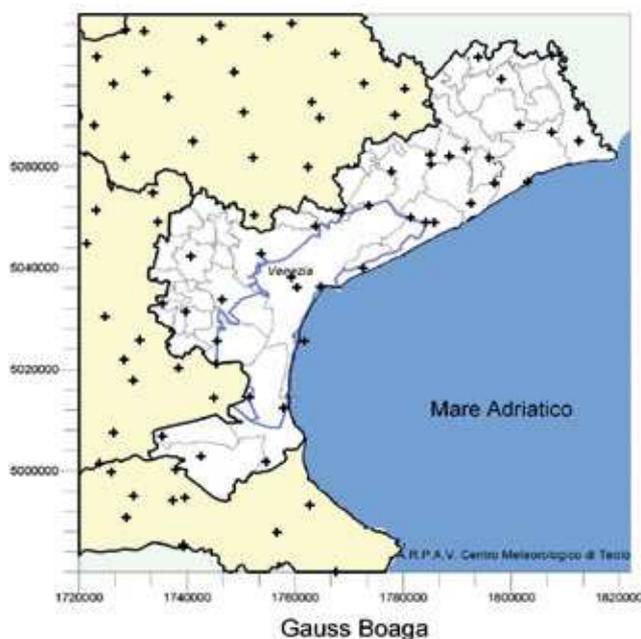


Fig. 11.2B - Localizzazione delle stazioni meteorologiche storiche dell'ex Servizio Idrografico utilizzate per l'analisi delle precipitazioni medie registrate sul territorio provinciale nel periodo 1971÷2000.



Fig. 11.3 - Sensori della stazione meteorologica: foto e caratteristiche del pluviometro per la misura della precipitazione (fonte: ARPAV).

Il regime pluviometrico annuo in provincia di Venezia può considerarsi, come per gran parte del territorio regionale, assimilabile al tipo “equinoziale”, con due massimi ratei di pioggia mediamente presenti tra la primavera e l’inizio dell’estate, nonché nei mesi autunnali (Fig. 11.4). La stagione più secca è solitamente l’inverno mentre in estate, normalmente, non si registrano periodi di forte siccità grazie alle precipitazioni di origine convettiva (temporali) che però risultano spesso intense e di breve durata.

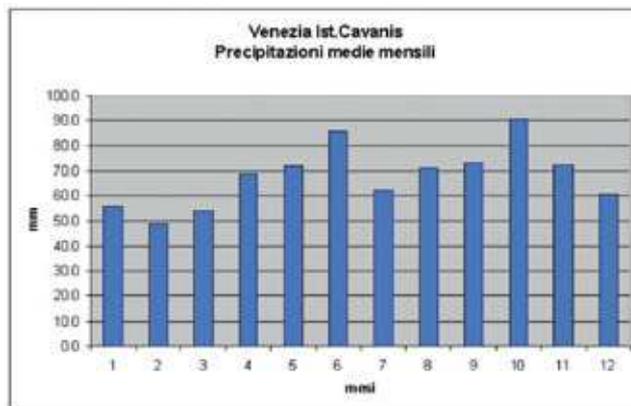


Fig. 11.4 - Precipitazioni medie mensili riferite alla stazione di Venezia - Istituto Cavanis, per il periodo 1971÷2000.

In particolare i mesi mediamente più piovosi sul territorio provinciale sono rappresentati da settembre-ottobre-novembre e da maggio-giugno, mentre quelli meno piovosi da gennaio-febbraio.

La precipitazione media annua, considerando i dati del periodo 1971÷2000 (Fig. 11.5), evidenzia una distribuzione sul territorio provinciale crescente dai 700-800 mm riscontrabili sui settori più meridionali ai 900-1100 mm delle zone più nord-orientali. L’inverno, come detto, si conferma come la stagione mediamente più secca con valori in prevalenza compresi tra 150 e 200 mm (Fig. 11.6). In primavera cadono in media tra i 175 e i 225 mm su gran parte della provincia, con

locali valori compresi tra 150 e 175 mm sulle zone più meridionali e superiori ai 225 mm su alcune zone più settentrionali (Fig. 11.7). Durante l’estate si registrano in media cumulate comprese in prevalenza tra 200 e 250 mm (Fig. 11.8), mentre in autunno i quantitativi totali raggiungono mediamente i 200-250mm su gran parte dei settori centro-meridionali e i 250-325 mm su quelli più nord-orientali (Fig. 11.9).

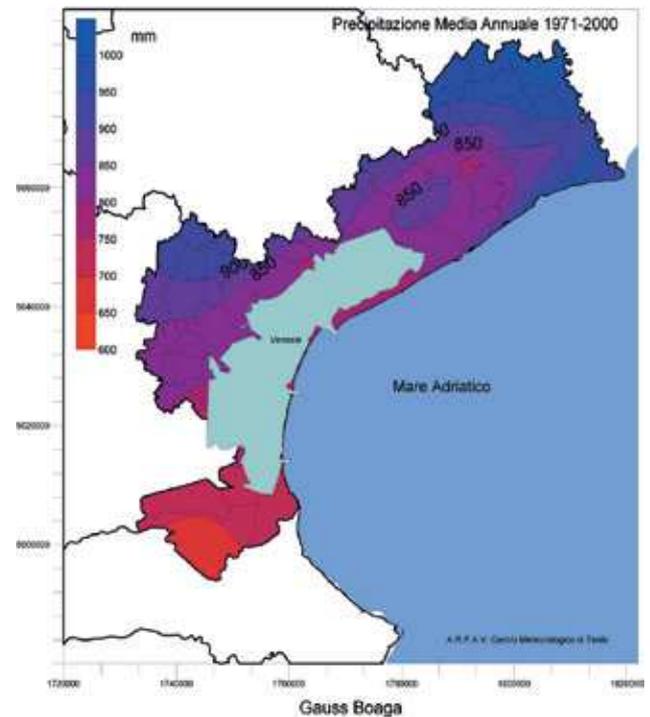


Fig. 11.5 - Carta della precipitazione media annuale.

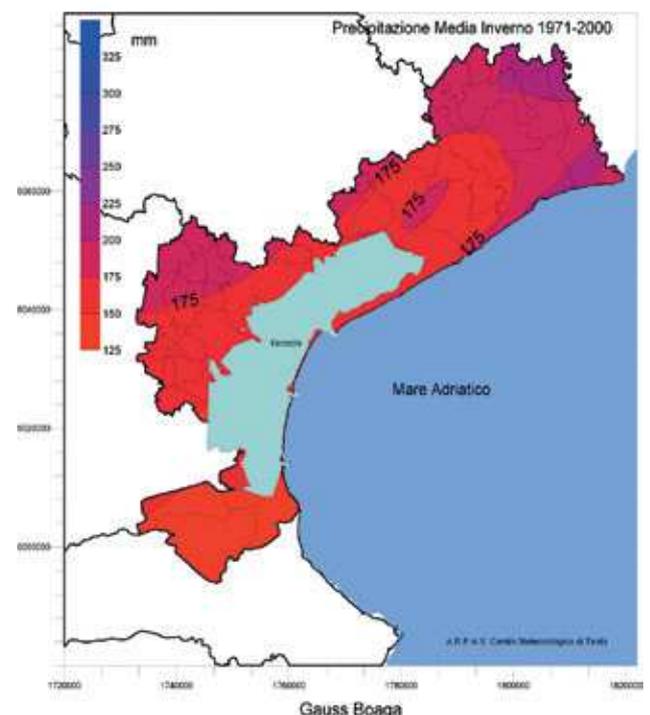


Fig. 11.6 - Carta della precipitazione media invernale (Dic-Gen-Feb).

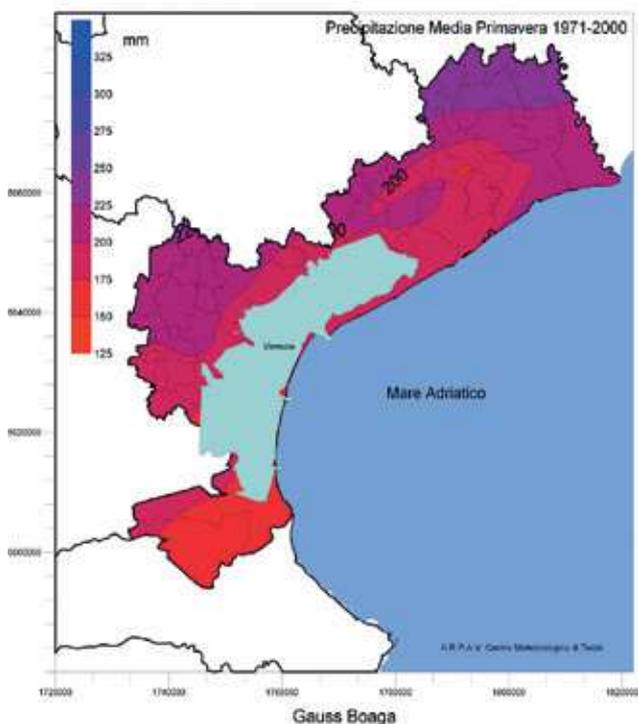


Fig. 11.7 - Carta della precipitazione media primaverile (Mar-Apr-Mag).

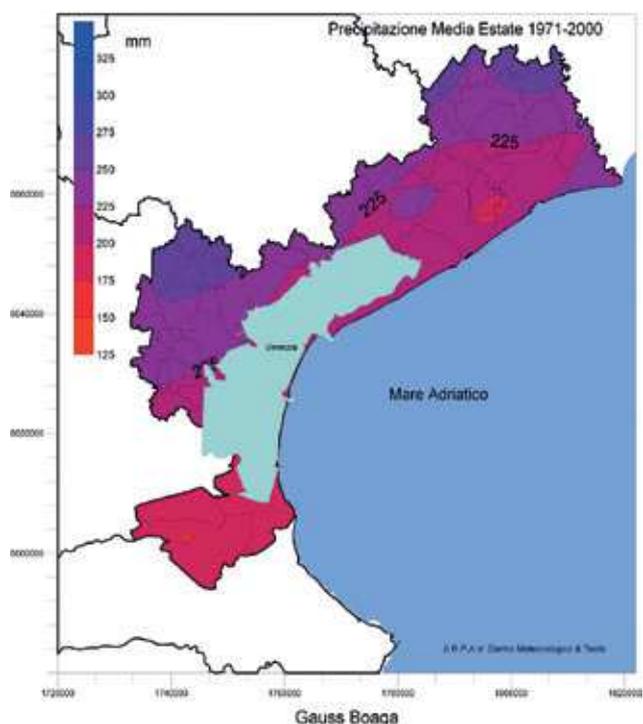


Fig. 11.8 - Carta della precipitazione media estiva (Giu-Lug-Ago).

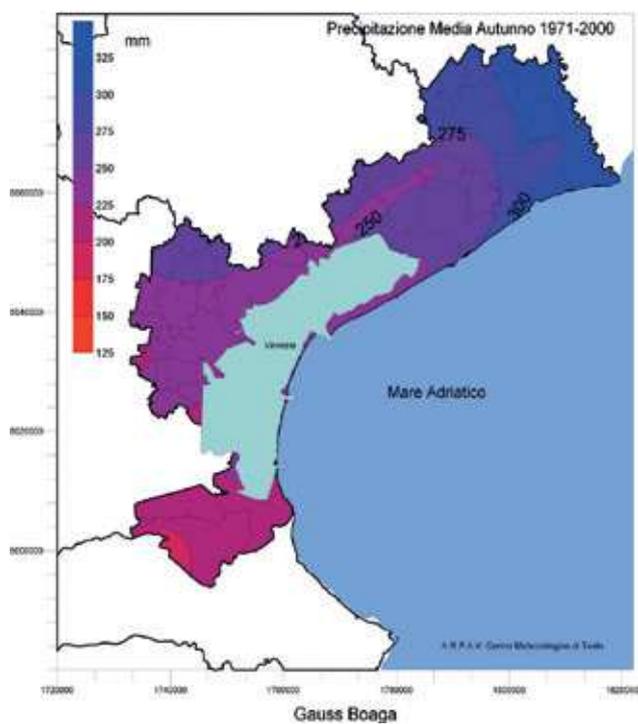


Fig. 11.9 - Carta della precipitazione media autunnale (Set-Ott-Nov).

11.4.2. Precipitazioni di massima intensità e loro frequenza probabile

L'analisi degli eventi pluviometrici intensi è stata eseguita sulla base dei dati di massima precipitazione annua per le durate da 5 minuti a 5 giorni provenienti dalla rete di monitoraggio regionale per il periodo 1992-2010 (Figg. da 11.10 a 11.29).

L'elaborazione statistico-probabilistica ha permesso di stimare le altezze massime di precipitazione per assegnati tempi di ritorno, che rappresentano il numero medio di anni entro cui il valore di pioggia calcolato viene superato una sola volta. In conclusione è stato possibile redigere le carte provinciali della piovosità per le durate e i tempi di ritorno esaminati, ovvero delle altezze di pioggia che, per le durate di 1 ora, 6 ore, 24 ore, 3 giorni e 5 giorni, ci si attende non vengano superate, a meno di un rischio valutato attraverso il tempo di ritorno (2, 5, 10, 25 anni).

Dato il limite temporale delle serie disponibili, dal 1992 al 2010 (18 anni), è opportuno ricordare che non si è proceduto al calcolo delle precipitazioni con tempi di ritorno superiori ai 25 anni in quanto l'estrapolazione sarebbe troppo estesa in rapporto all'ordine di grandezza delle serie.

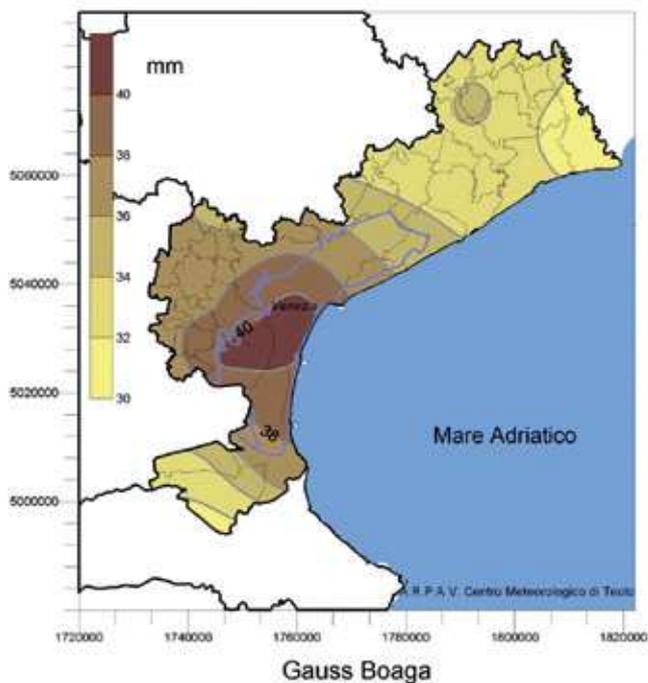


Fig. 11.10 - Carta provinciale delle precipitazioni di durata pari a 1 ora per tempi di ritorno di 2 anni.

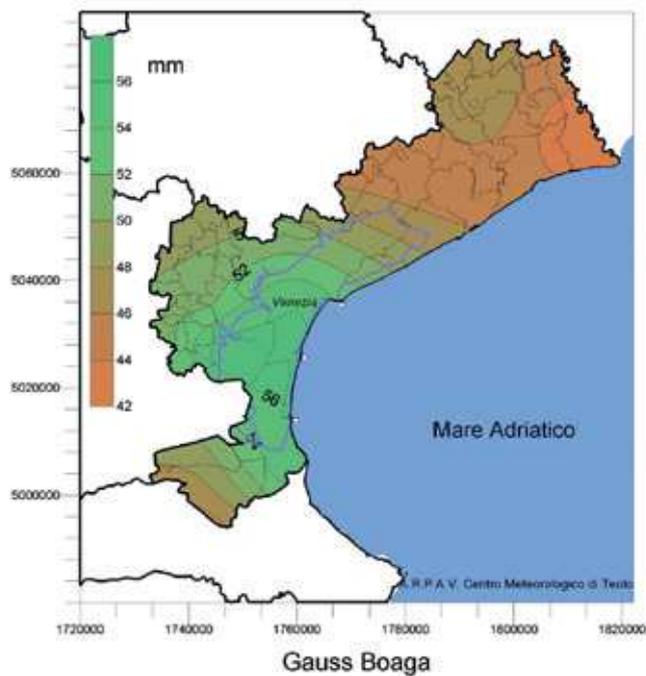


Fig. 11.11 - Carta provinciale delle precipitazioni di durata pari a 1 ora per tempi di ritorno di 5 anni.

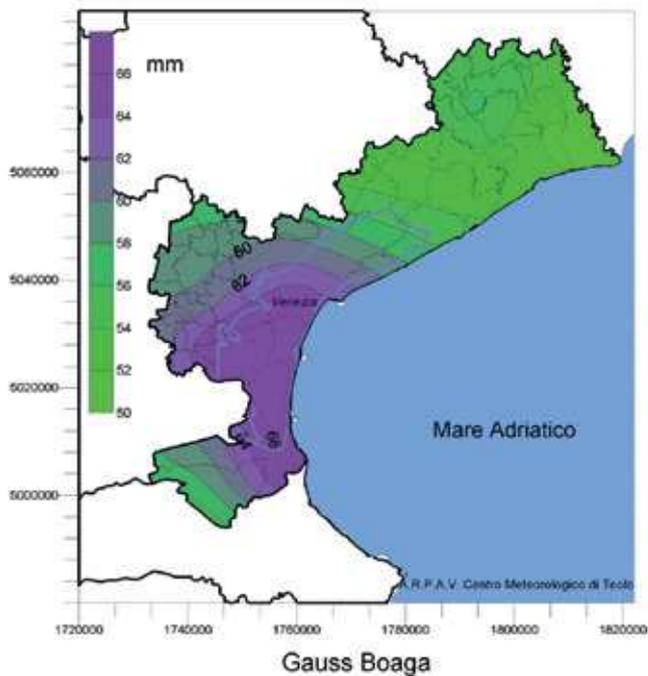


Fig. 11.12 - Carta provinciale delle precipitazioni di durata pari a 1 ora per tempi di ritorno di 10 anni.

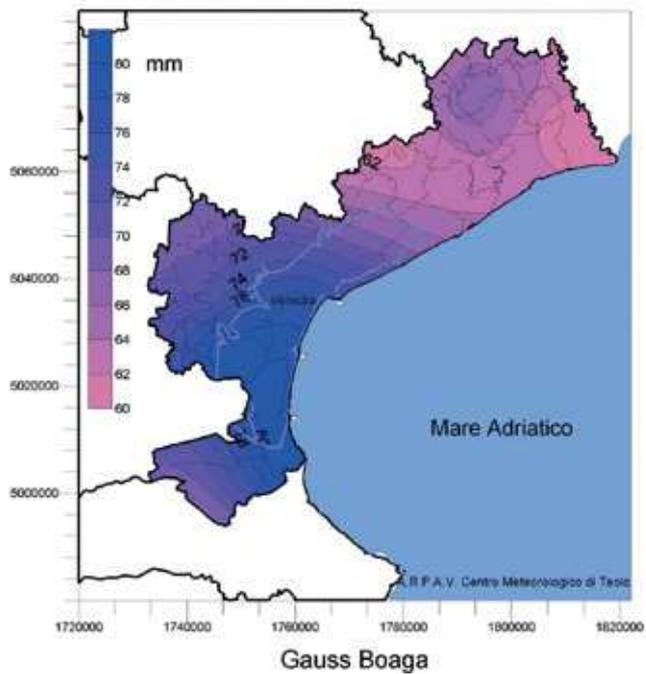


Fig. 11.13 - Carta provinciale delle precipitazioni di durata pari a 1 ora per tempi di ritorno di 25 anni.

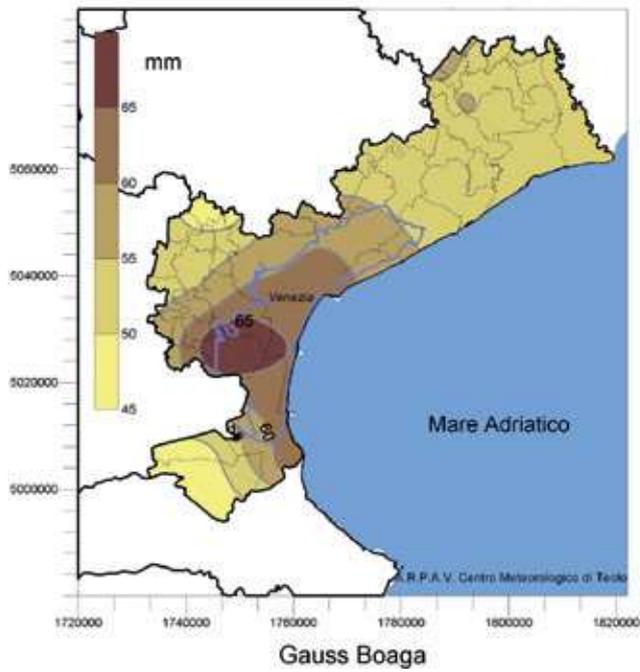


Fig. 11.14 - Carta provinciale delle precipitazioni di durata pari a 6 ore per tempi di ritorno di 2 anni.

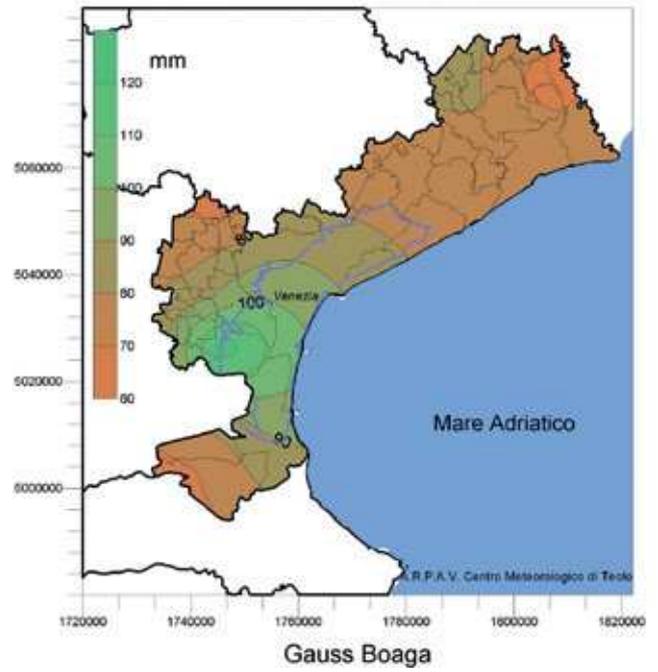


Fig. 11.15 - Carta provinciale delle precipitazioni di durata pari a 6 ore per tempi di ritorno di 5 anni.

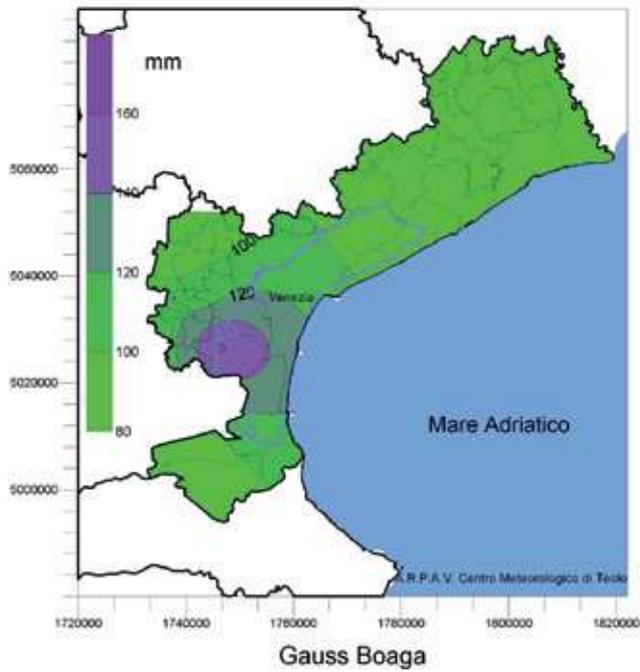


Fig. 11.16 - Carta provinciale delle precipitazioni di durata pari a 6 ore per tempi di ritorno di 10 anni.

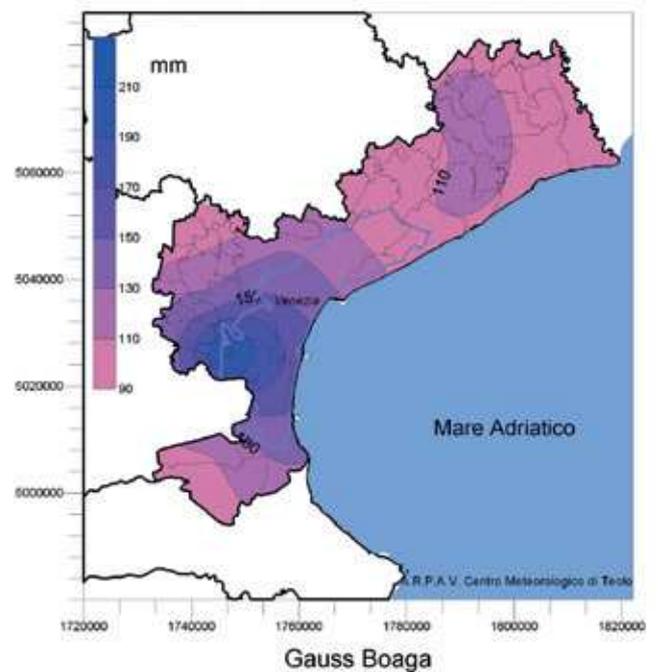


Fig. 11.17 - Carta provinciale delle precipitazioni di durata pari a 6 ore per tempi di ritorno di 25 anni.

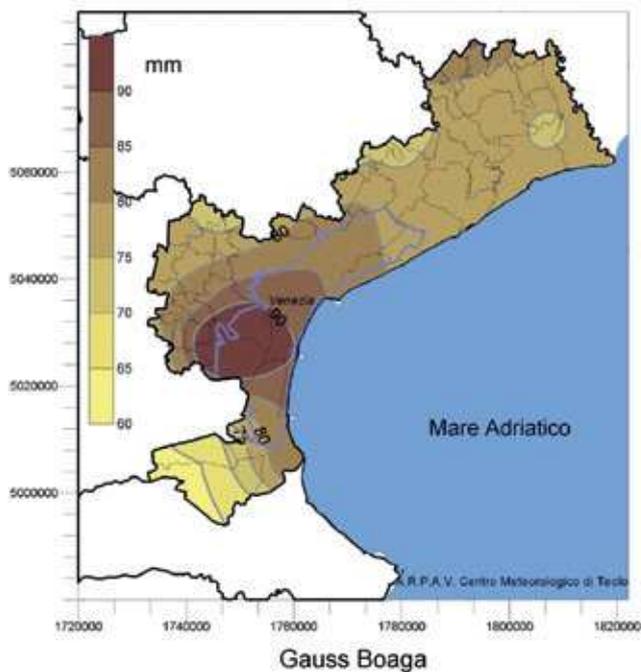


Fig. 11.18 - Carta provinciale delle precipitazioni di durata pari a 24 ore per tempi di ritorno di 2 anni.

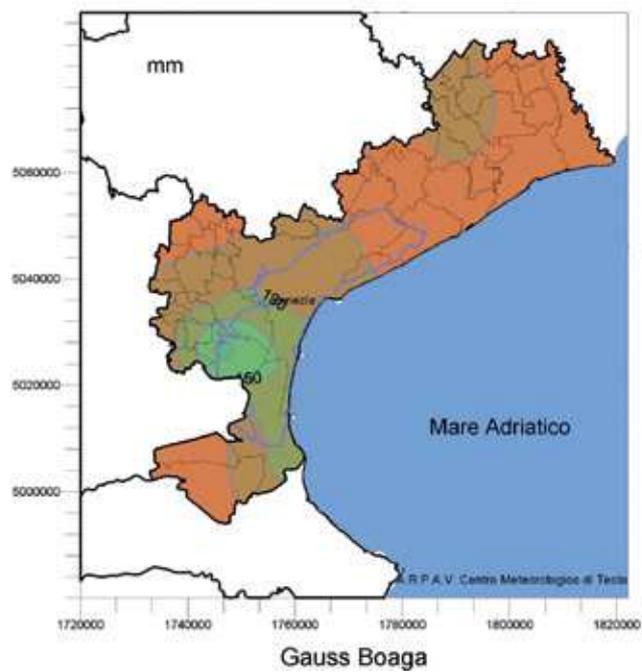


Fig. 11.19 - Carta provinciale delle precipitazioni di durata pari a 24 ore per tempi di ritorno di 5 anni.

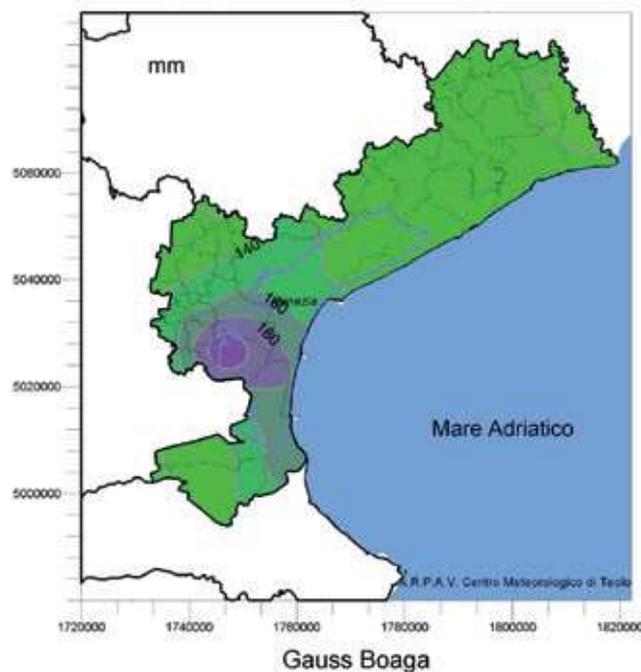


Fig. 11.20 - Carta provinciale delle precipitazioni di durata pari a 24 ore per tempi di ritorno di 10 anni.

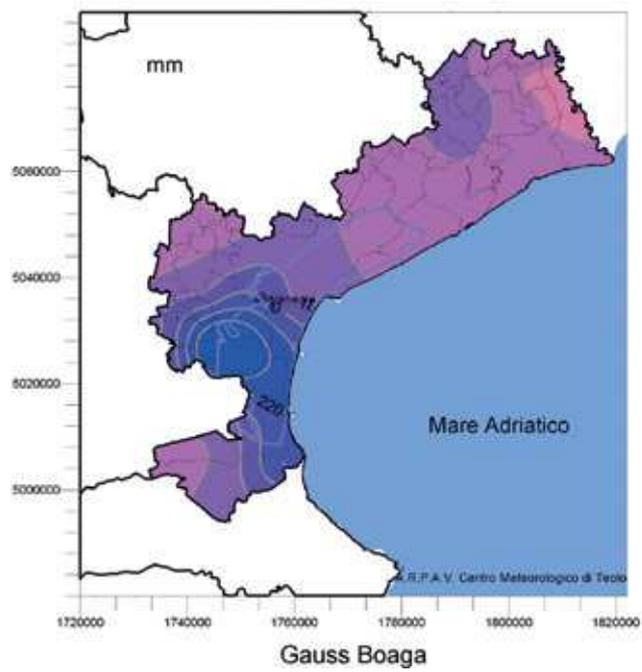


Fig. 11.21 - Carta provinciale delle precipitazioni di durata pari a 24 ore per tempi di ritorno di 10 anni.

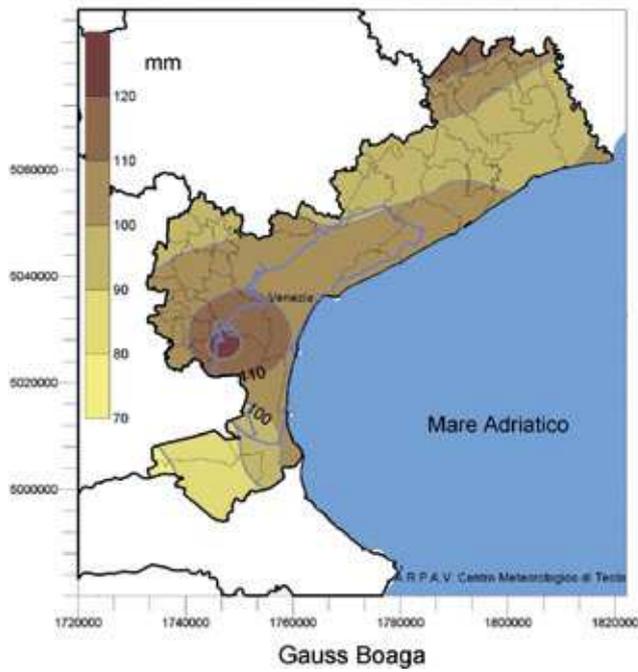


Fig. 11.22 - Carta provinciale delle precipitazioni di durata pari a 3 giorni per tempi di ritorno di 2 anni.

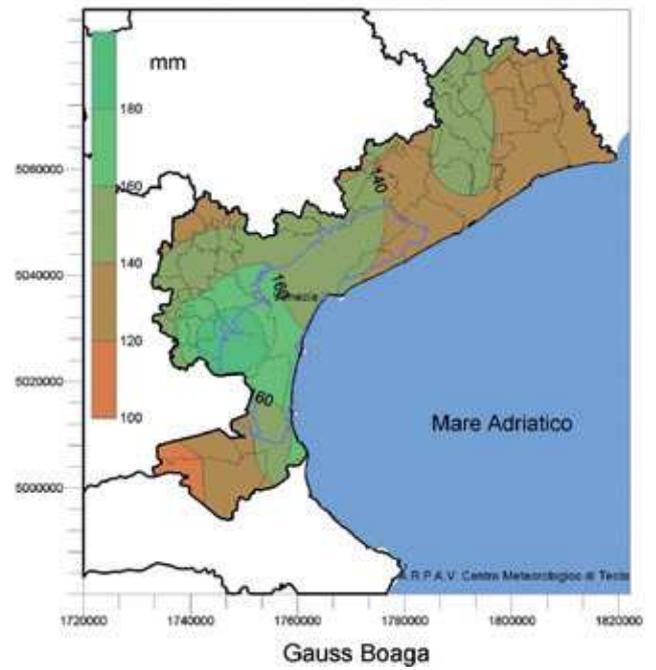


Fig. 11.23 - Carta provinciale delle precipitazioni di durata pari a 3 giorni per tempi di ritorno di 5 anni.

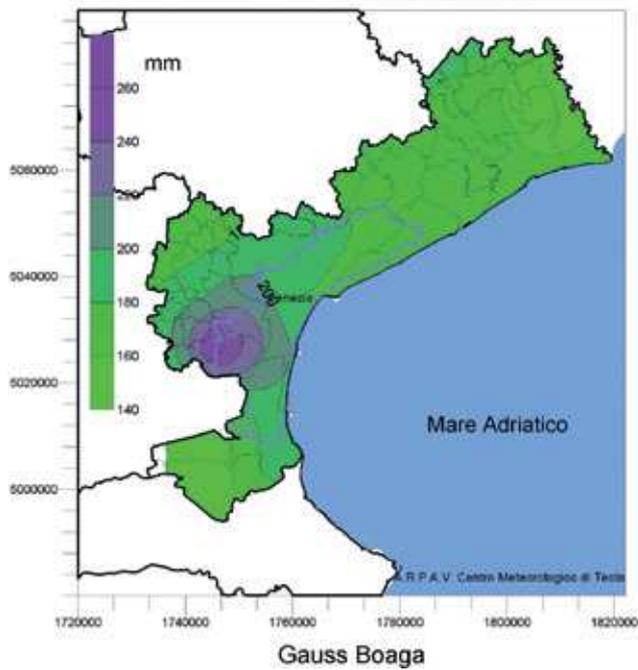


Fig. 11.24 - Carta provinciale delle precipitazioni di durata pari a 3 giorni per tempi di ritorno di 10 anni.

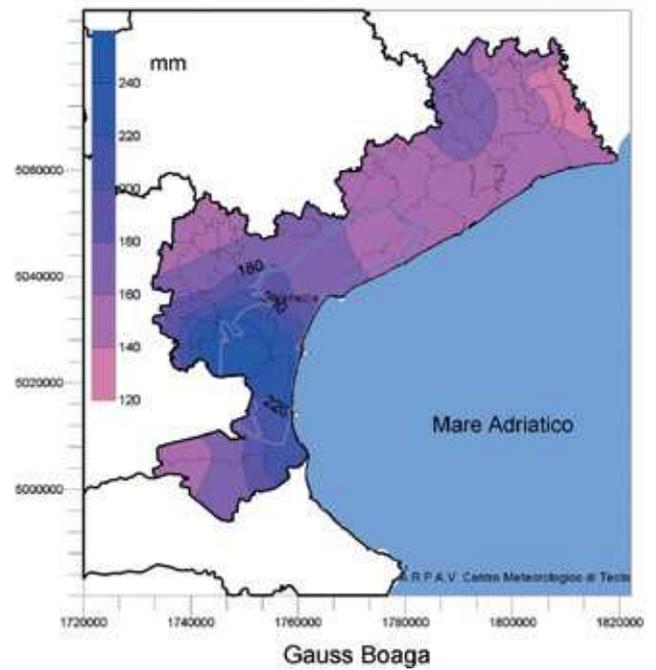


Fig. 11.25 - Carta provinciale delle precipitazioni di durata pari a 3 giorni per tempi di ritorno di 25 anni.

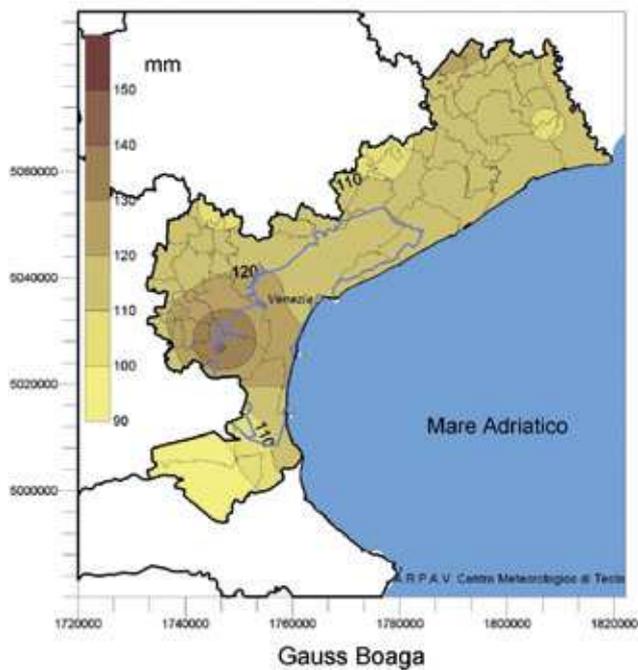


Fig. 11.26 - Carta provinciale delle precipitazioni di durata pari a 5 giorni per tempi di ritorno di 2 anni.

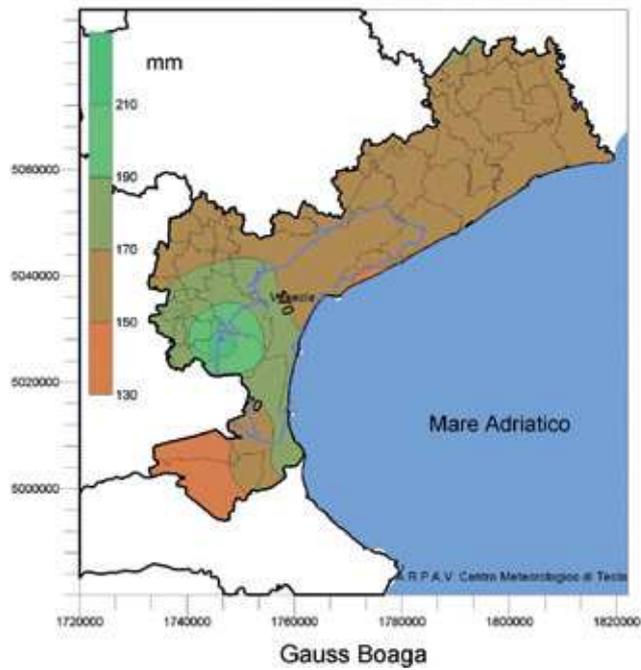


Fig. 11.27 - Carta provinciale delle precipitazioni di durata pari a 5 giorni per tempi di ritorno di 5 anni.

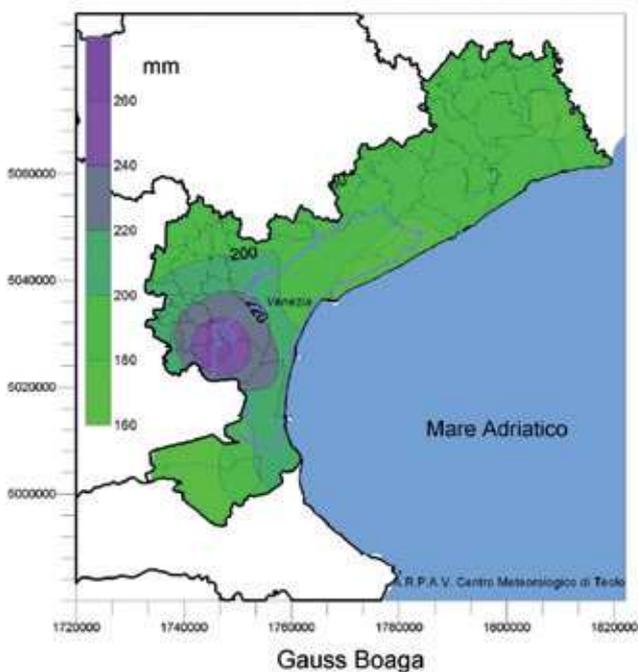


Fig. 11.28 - Carta provinciale delle precipitazioni di durata pari a 5 giorni per tempi di ritorno di 10 anni.

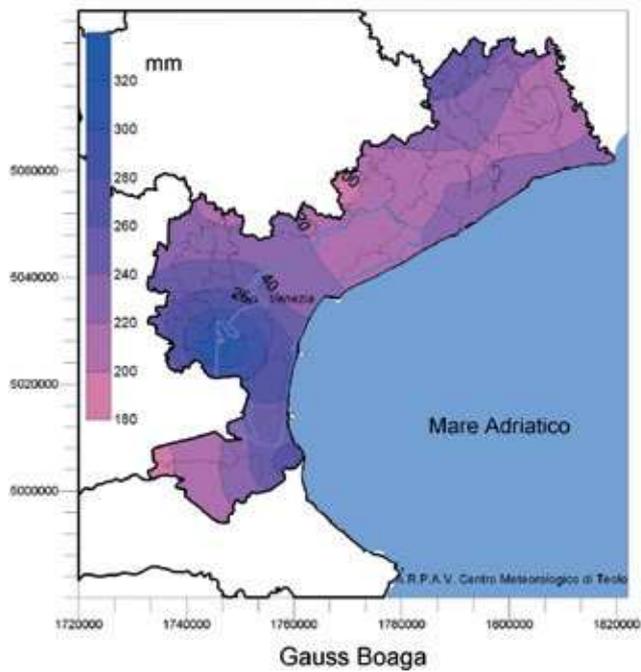
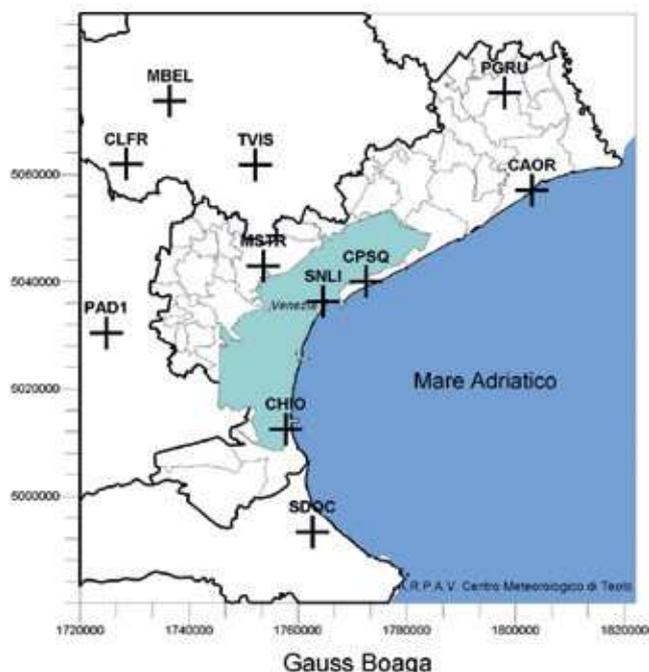


Fig. 11.29 - Carta provinciale delle precipitazioni di durata pari a 5 giorni per tempi di ritorno di 25 anni.



COD	STAZIONE	QUOTA s.l.m.
CPSQ	CA' PASQUALI	2
CAOR	CAORLE	3
CLFR	CASTELFRANCO VENETO	44
CHIO	CHIOGGIA	2
MSTR	MESTRE	4
MBEL	MONTEBELLUNA	121
PAD1	PADOVA	12
PGRU	PORTOGRUARO	6
SNLI	SAN NICOLO' LIDO	4
SDOC	SADOCCA	2
TVIS	TREVISO	15

Fig. 11.30 - Elenco e localizzazione delle stazioni meteorologiche utilizzate per l'analisi delle temperature registrate sul territorio provinciale nel periodo 1971÷2000.

COD	STAZIONE	GEN.	FEB.	MAR.	APR.	MAG.	GIU.	LUG.	AGO.	SET.	OTT.	NOV.	DIC.	ANNO
CPSQ	CA' PASQUALI	7,2	9,2	12,4	16,3	21,7	25,4	28,5	28,6	24,4	19,0	12,5	8,1	17,8
CAOR	CAORLE	6,6	8,6	12,0	15,9	21,0	24,6	27,8	27,9	23,6	18,2	11,9	7,4	17,1
CHIO	CHIOGGIA	6,2	8,2	12,1	16,1	21,3	24,1	28,0	28,0	23,7	18,0	11,5	7,1	17,1
MSTR	MESTRE	6,3	8,7	12,9	17,2	22,5	25,6	28,5	28,7	24,4	18,0	11,4	7,0	17,6
PGRU	PORTOGRUARO	7,7	10,3	14,3	18,3	23,7	27,2	30,1	30,1	25,3	19,5	12,8	8,3	19,0
SNLI	SAN NICOLO' - LIDO	6,4	8,7	12,8	16,8	22,1	25,6	28,5	28,4	24,0	18,2	11,6	7,2	17,5

Tab. 11.1 - Temperature medie mensili delle temperature massime nelle stazioni meteorologiche della Fig. 11.30.

COD	STAZIONE	GEN.	FEB.	MAR.	APR.	MAG.	GIU.	LUG.	AGO.	SET.	OTT.	NOV.	DIC.	ANNO
CPSQ	CA' PASQUALI	-0,3	0,6	3,8	7,5	12,1	15,4	17,7	17,7	13,5	9,2	4,1	0,3	8,5
CAOR	CAORLE	0,6	1,5	4,8	8,8	13,6	16,9	19,1	18,8	15,1	10,4	5,2	1,5	9,7
CHIO	CHIOGGIA	1,1	2,7	6,1	9,7	14,5	18,0	20,9	20,8	16,9	12,0	6,0	2,1	10,9
MSTR	MESTRE	0,8	2,1	5,5	8,8	13,6	17,0	19,2	18,9	15,2	10,6	5,3	1,6	9,9
PGRU	PORTOGRUARO	-0,2	0,9	4,1	8,0	12,8	15,9	18,0	17,8	14,0	9,5	4,1	0,6	8,8
SNLI	SAN NICOLO' - LIDO	1,6	2,5	5,5	9,0	13,7	16,9	19,3	19,3	15,6	11,2	6,1	2,5	10,3

Tab. 11.2 - Temperature medie mensili delle temperature minime nelle stazioni meteorologiche della Fig. 11.30.

Nella Fig. 11.31 sono raffigurati i sensori delle stazioni meteorologiche ARPAV relativamente alle caratteristiche dei termometri per la misura della temperatura dell'aria.



Fig. 11.31 - Sensori della stazione meteorologica: il termometro per la misura della temperatura dell'aria (fonte: ARPAV).

11.5. TEMPERATURE

Le caratteristiche termometriche del territorio della provincia di Venezia risultano, rispetto ai territori limitrofi interni della pianura veneta, influenzate, seppur in modo abbastanza limitato, dalla presenza del mare. Sono state analizzate le distribuzioni dei valori medi annuali e stagionali delle temperature massime e minime giornaliere, calcolate per il periodo di riferimento 1971÷2000 (Figg. da 11.32 a 11.41). Le distribuzioni dei valori termici sul territorio risultano abbastanza omogenee, anche se si può notare comunque l'effetto mitigatore del mare che determina un regime termometrico leggermente più continentale verso l'entroterra rispetto alla fascia più prossima al litorale.

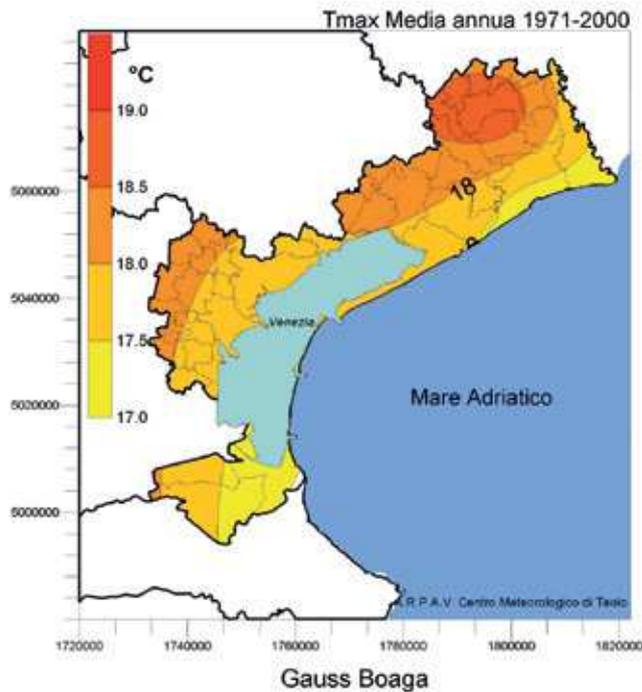


Fig. 11.32 - Carta della media annua delle temperature massime giornaliere.

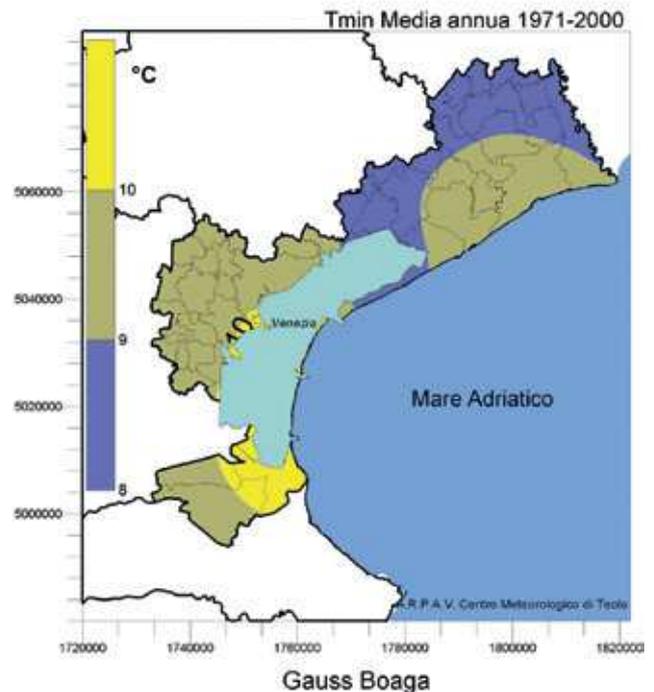


Fig. 11.33 - Carta della media annua delle temperature minime giornaliere.

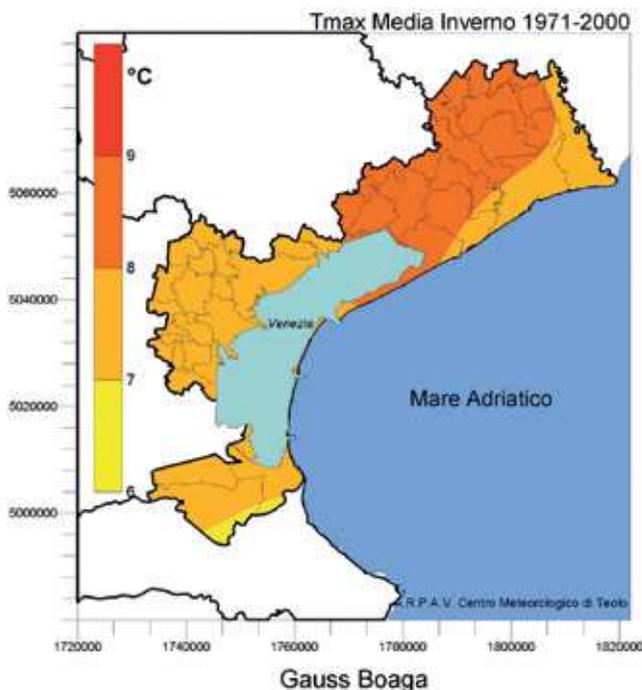


Fig. 11.34 - Carta della media invernale (Dic-Gen-Feb) delle temperature massime giornaliere.

Le temperature massime medie annue risultano generalmente comprese tra 17 e 19 °C con i valori meno elevati (17-18 °C) riferiti alla fascia costiera mentre la zona mediamente più calda risulta posizionata nell'entroterra nord-orientale della provincia dove si registrano valori medi di 18,5-19 °C (Fig. 11.32). Relativamente alla media annuale delle temperature minime si nota una leggera tendenza alla diminuzione delle temperature minime procedendo verso l'interno del territorio: la zona mediamente più calda è rappresentata dai settori centro-meridionali più vicini alla costa (9,5-10,5 °C) mentre le zone più nord-orientali confermano un maggior grado di continentalità registrando i valori mediamente più bassi (8-9 °C) (Fig. 11.33).

Le distribuzioni dei valori di temperatura massima e minima su base stagionale confermano generalmente le caratteristiche evidenziate a livello annuo, con valori massimi estivi in aumento e valori minimi in diminuzione allontanandoci dalla costa. Le zone interne evidenziano quindi un regime più continentale, con maggiori escursioni termiche annue e con circolazioni dei venti (soprattutto le brezze) più deboli rispetto alla fascia litoranea. Nell'entroterra la zona più continentale appare comunque il settore più nord-orientale della provincia (portogruarese), dove probabilmente l'effetto mitigatore del mare è più limitato rispetto agli altri settori centro-occidentali dell'entroterra; infatti i venti in prevalenza nord-orientali risultano in questa zona paralleli alla costa e quindi non in grado di far penetrare efficacemente verso l'interno masse d'aria più miti provenienti dal mare.

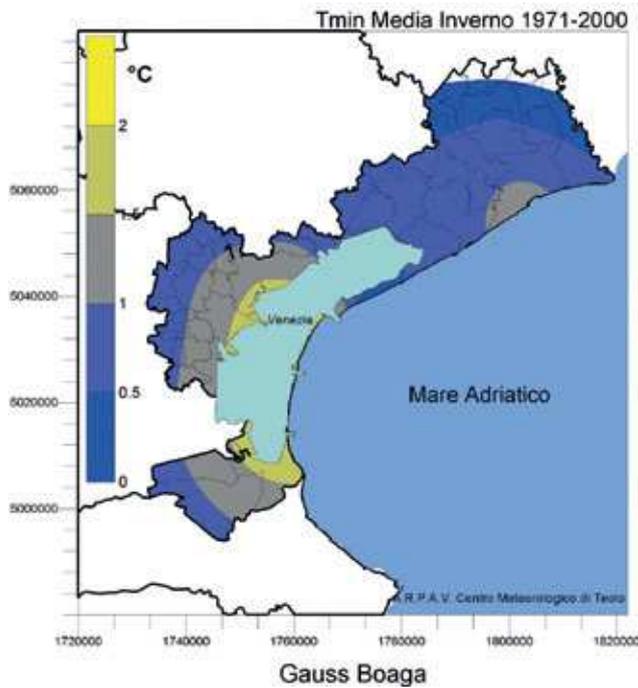


Fig. 11.35 - Carta della media invernale (Dic-Gen-Feb) delle temperature minime giornaliere.

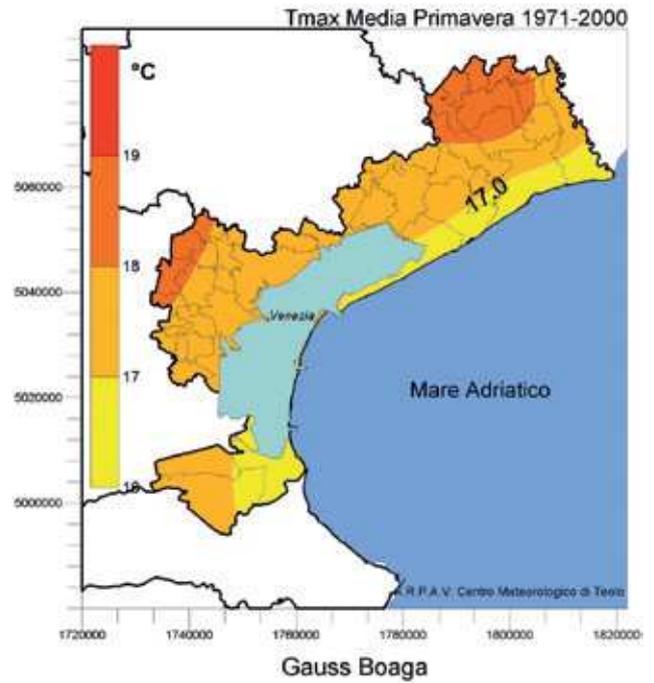


Fig. 11.36 - Carta della media primaverile (Mar-Apr-Mag) delle temperature massime giornaliere.

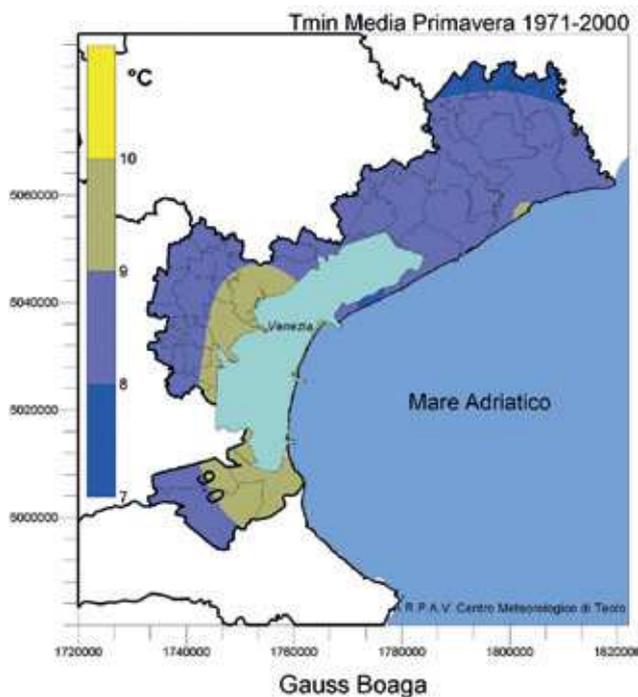


Fig. 11.37 - Carta della media primaverile (Mar-Apr-Mag) delle temperature minime giornaliere.

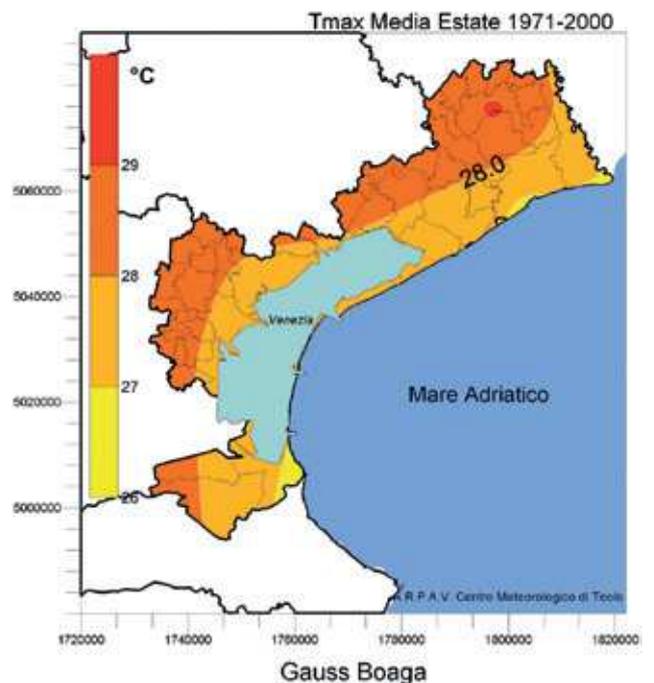


Fig. 11.38 - Carta della media estiva (Giu-Lug-Ago) delle temperature massime giornaliere.

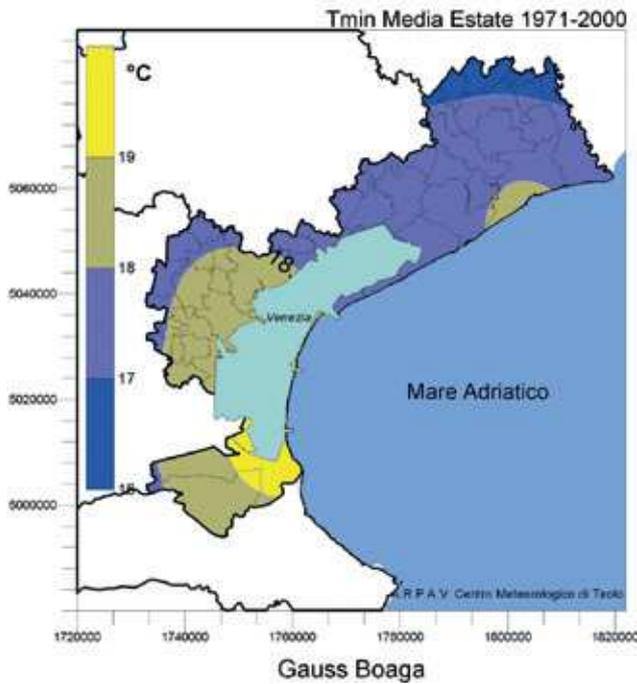


Fig. 11.39 - Carta della media estiva (Giu-Lug-Ago) delle temperature minime giornaliere.

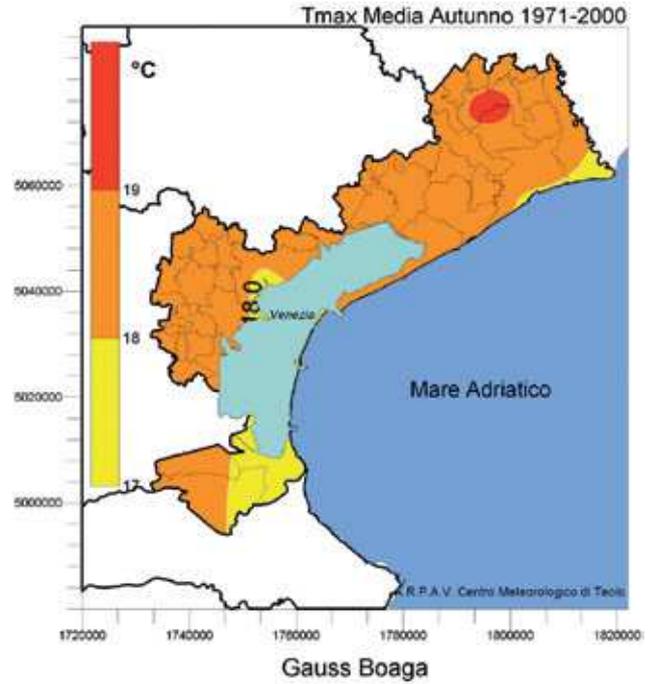


Fig. 11.40 - Carta della media autunnale (Set-Ott-Nov) delle temperature massime giornaliere.

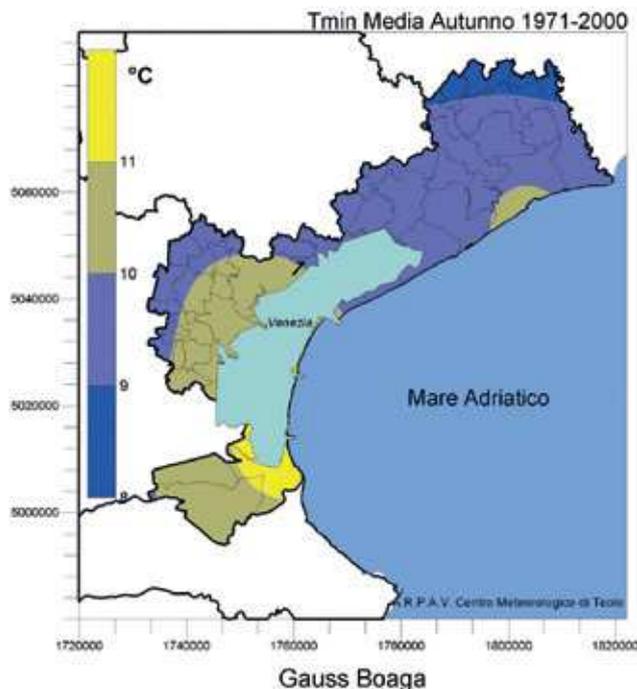


Fig. 11.41 - Carta della media autunnale (Set-Ott-Nov) delle temperature minime giornaliere.

11.6. VENTO

L'analisi dei venti si è basata sui dati raccolti dalle stazioni del Centro Meteorologico di ARPAV dotate di anemometro e anemoscopio posti a 10 m dal suolo, così come previsto dagli standard internazionali per la misura di questa grandezza meteorologica.

Le elaborazioni effettuate hanno permesso l'analisi delle raffiche massime di vento registrate e delle rose dei venti a livello annuo e stagionale.



Fig. 11.42 - Sensori della stazione meteorologica: l'anemometro e l'anemoscopio per la misura della velocità e della direzione del vento.

11.6.1. Raffiche di vento

Per raffica di vento si intende l'intensità massima del vento (in m/s) registrata da un anemometro posto ad una altezza di 10 m dal suolo.

Per l'analisi delle intensità delle raffiche di vento nel territorio provinciale di Venezia sono stati presi in considerazione i dati giornalieri di raffica massima registrati dalle stazioni.

I periodi che presentano la maggior frequenza di raffiche massime annue sono compresi tra giugno e luglio e da settembre a dicembre. Ciò è imputabile, per i mesi estivi, ai frequenti eventi di tipo temporalesco con generazione di moti turbolenti dell'aria a livello locale, mentre per i mesi autunnali, fino al mese di dicembre, il numero di eventi è associato a tipiche configurazioni bariche che si stabiliscono sull'Alto Adriatico portando alla formazione di venti di bora (da NE) e di scirocco (da SE).

11.6.2. Rose dei venti

Le rose dei venti permettono di evidenziare le direzioni prevalenti dei venti provenienti dai diversi settori e le diverse classi di velocità media.

Per le stesse stazioni di cui si sono analizzati i dati di raffica massima, sono state elaborate le rose dei venti medie a livello annuo e stagionale, sulla base dei dati registrati tra il 1998 e il 2001 (Figg. da 11.45 a 11.49). È da evidenziare che sul territorio provinciale, a livello annuo, i venti nord-orientali (Bora) sono quelli più frequenti.

Essendo la conformazione del territorio orientata da sud-ovest a nord-est è presente una diversa incidenza del vento:

- nell'area meridionale (Chioggia, Cavarzere e Cona) i venti di Bora spirano ortogonalmente alla costa mentre quelli di Scirocco tendono a spirare parallelamente alla costa;
- nell'area nord-orientale i venti di Scirocco spirano ortogonalmente alla costa mentre quelli di Bora tendono a lambire parallelamente alla costa gli estremi orientali del territorio (San Michele al Tagliamento, Caorle).

A livello stagionale si può notare:

- in inverno, prevalenza di circolazioni di debole intensità con venti più intensi provenienti da nord-est (Bora) e, nella zona sud-occidentale, maggior presenza di venti dai quadranti occidentali ma di intensità mediamente più debole;
- in primavera, venti mediamente più sostenuti, in prevalenza dai quadranti nord-orientali nelle zone più interne, mentre nella zona litoranea presenza delle brezze (soprattutto di mare, perpendicolari alla costa)
- in estate, dominanza dei regimi a carattere di brezza con alternanza delle brezze di mare (di giorno) e, seppur più deboli, delle brezze di terra (di notte) che risultano provenienti da NE nel medio-alto veneziano e da NO nel basso veneziano.
- In autunno, prevalenza di venti da NE nella zona nord-orientale e maggior variabilità nel basso veneziano, ma con venti più intensi sempre dai settori nord-orientali.

IL TORNADO DI VENEZIA (11 SETTEMBRE 1970)

(a cura di Andrea Vitturi)

Le trombe d'aria (dette anche "tornado") sono violenti vortici d'aria che arrivano a toccare il suolo; sono fenomeni meteorologici altamente distruttivi, per fortuna da noi con frequenze non elevate. Pur tuttavia essi hanno colpito il territorio provinciale in più occasioni; restando agli ultimi anni, le trombe d'aria più recenti sono avvenute a Bibione (luglio 1997), a Cavarzere - Cona - Chioggia (settembre 1999), nel miranese (agosto 2002), a Caorle (agosto 2004), a Mira (luglio 2006), a Mestre in occasione del Heineken Jammin Festival (giugno 2007), a Noale - Salzano (novembre 2008), nel basso Piave (luglio 2009), a Fossò (giugno 2010), a Pellestrina e a Noventa di Piave (luglio 2010), a Santa Maria di Sala - Dolo - Chioggia (agosto 2010).

Ma quella che senza alcun dubbio è stata di gran lunga la più tristemente "famosa" è stata quella che ha colpito soprattutto il territorio comunale di Venezia (che allora comprendeva anche il territorio dell'attuale comune di Cavallino Treporti) l'11 set-

tembre 1970. Ha infatti causato complessivamente ben 34 morti (di cui uno in provincia di Padova) e tantissimi feriti, oltre a danni rilevanti.

Dalle fonti dell'epoca (soprattutto "Il Gazzettino") risulta che la tromba d'aria si formò sui Colli Euganei alle 20.45; devastò inizialmente la provincia di Padova per poi entrare in quello di Venezia (Vigonovo, Fossò, Camponogara, Mira), provocando ingenti danni e 18 feriti. Rase poi al suolo il camping Fusina, provocando un morto e 14 feriti, oltre a forti danni. Da qui, entrando in laguna, divenne la classica tromba marina, che sviluppò tutta la sua potenza su un motoscafo di linea (pesante ben 22 t!) che stava attraccando a Sant'Elena, sollevandolo e poi inabissandolo in pochi istanti.

Si contarono per questo solo episodio ben 21 morti, cui se ne aggiunse un altro, colpito dagli alberi sradicati nella pineta di Sant'Elena; anche molte case furono danneggiate seriamente (Figg. 11.43 e 11.44).

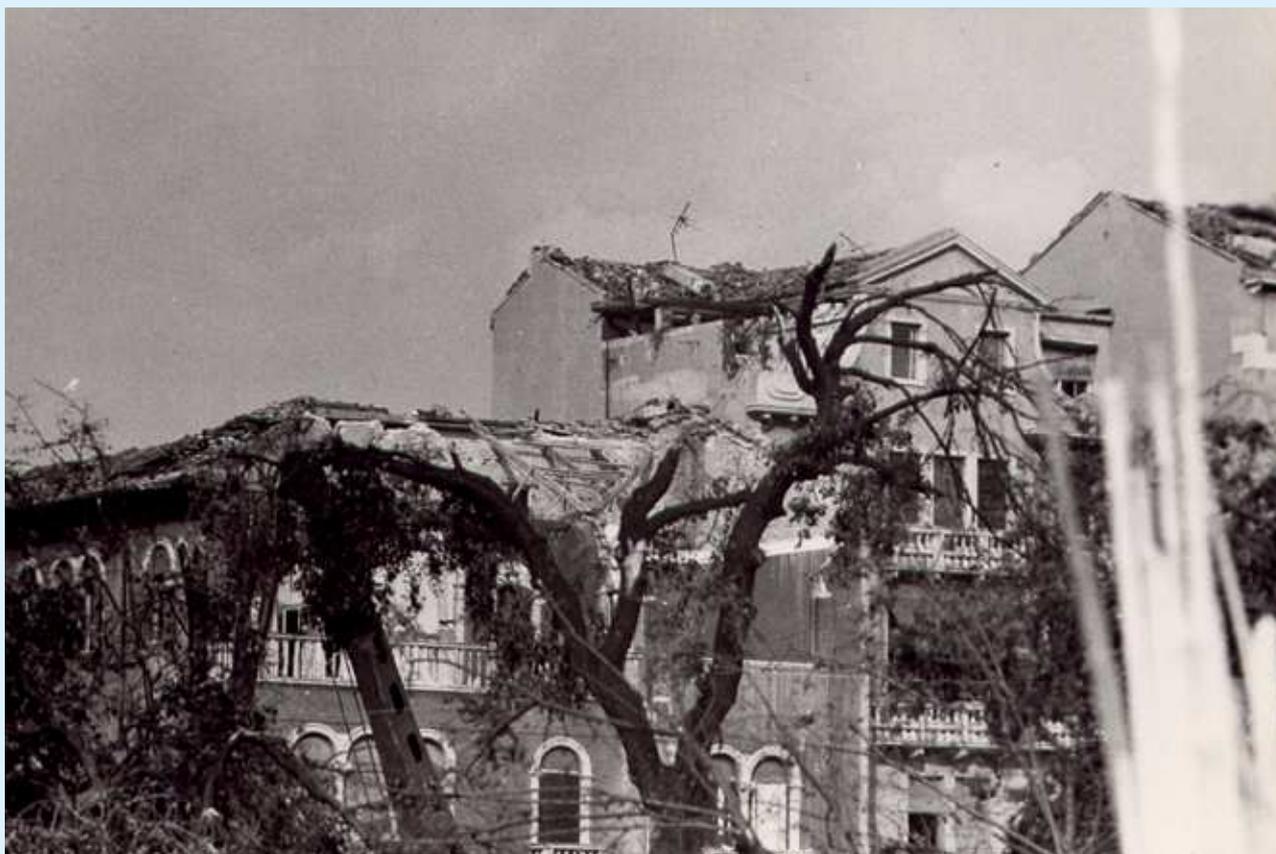


Fig. 11.43 - Case devastate in viale 4 novembre a Sant'Elena

(foto: Sergio Dalla Chiara - Mira - www.musicain.it/VENEZIA/TORNADO.htm)



Fig. 11.44 - Il cippo commemorativo delle vittime del tornado a Sant'Elena.



(foto: Sergio Dalla Chiara - Mira - www.musicain.it/VENEZIA/TORNADO.htm)

Il tornado devastò poi la zona di San Nicolò al Lido e quindi passò a Punta Sabbioni. La sua furia devastatrice terminò con ulteriori lutti: anche il camping Ca' Savio venne annientato e vi furono altri 12 morti e 141 feriti; anche qui, danni elevatissimi.

I tornado sono classificati con la scala Fujita in base alla loro potenza, che va da F1 a F5; il tornado descritto è stato classificato come F4, e cioè "devastante", in base a tale scala.



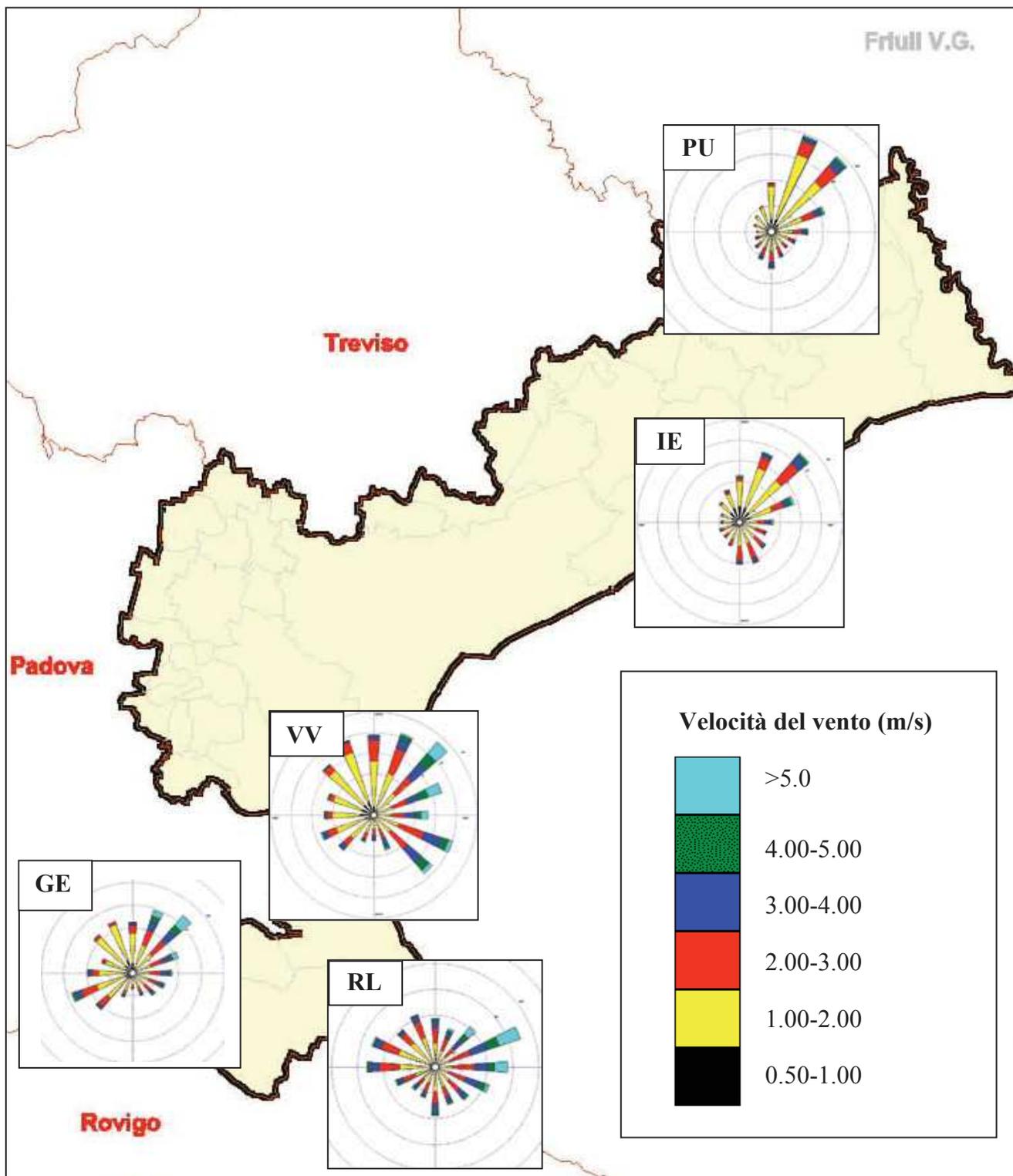


Fig. 11.45 - Rose dei venti medie annue elaborate per le stazioni di Portogruaro (PU), Cavallino Treponti (IE), Valle Averte (VV), Rosolina (RL), Gesia - Cavarzere (GE).

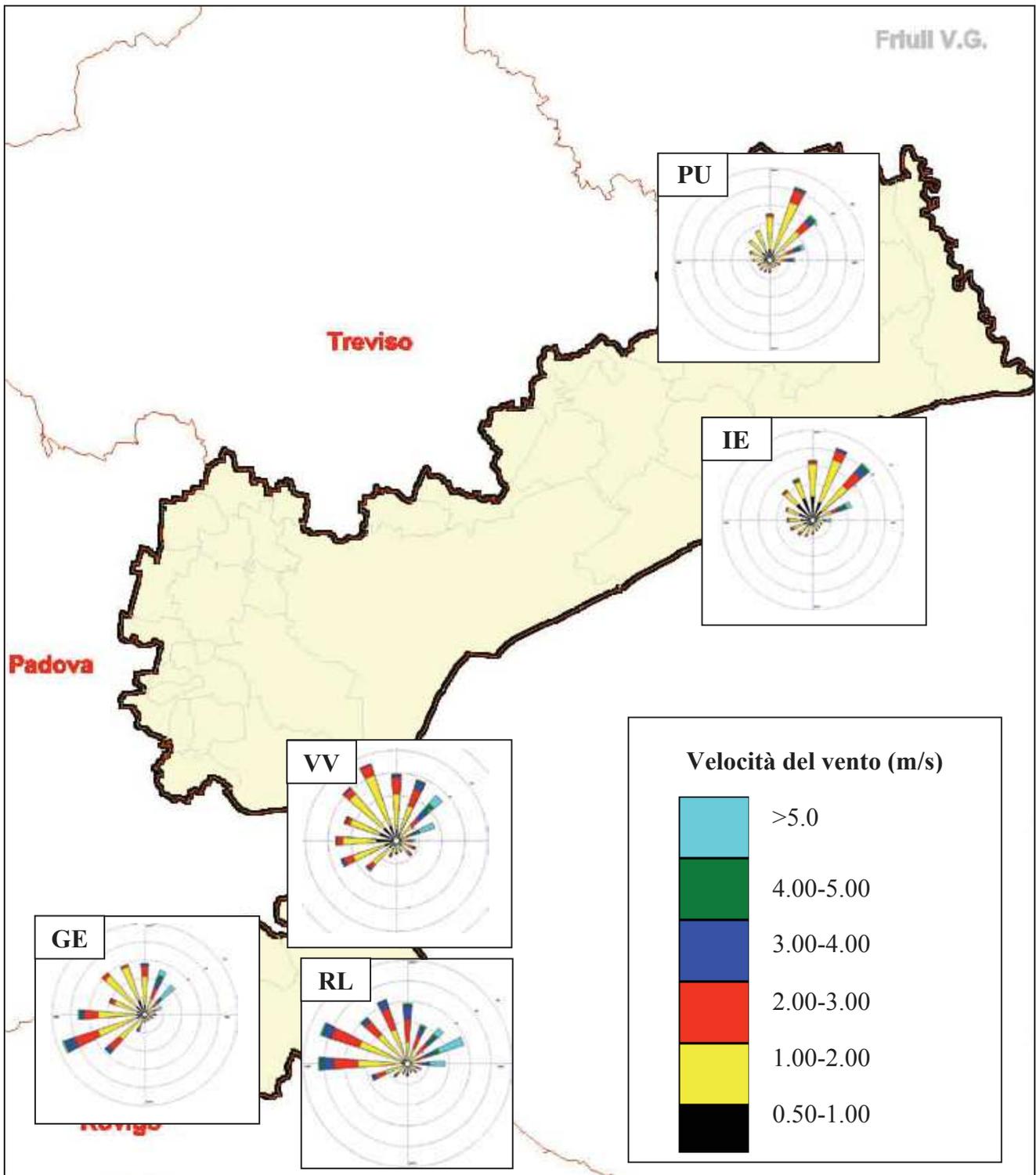


Fig. 11.46 - Rose dei venti medie invernali elaborate per le stazioni di Portogruaro (PU), Cavallino Treporti (IE), Valle Averso (VV), Rosolina (RL), Gesia Cavarzere (GE).

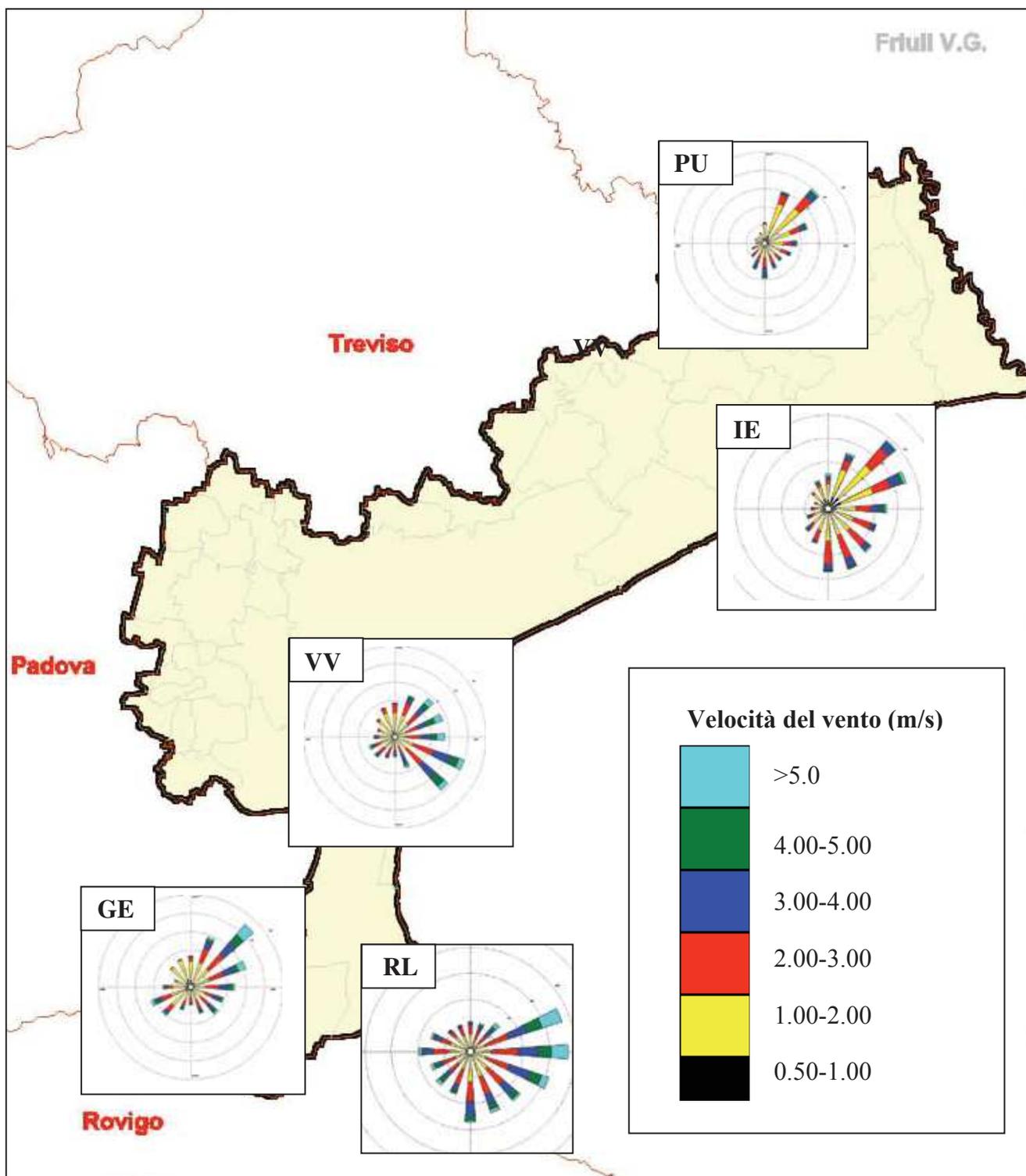


Fig. 11.47 - Rose dei venti medie primaverili elaborate per le stazioni di Portogruaro (PU), Cavallino Treporti (IE), Valle Averno (VV), Rosolina (RL), Gesia Cavarzere (GE).

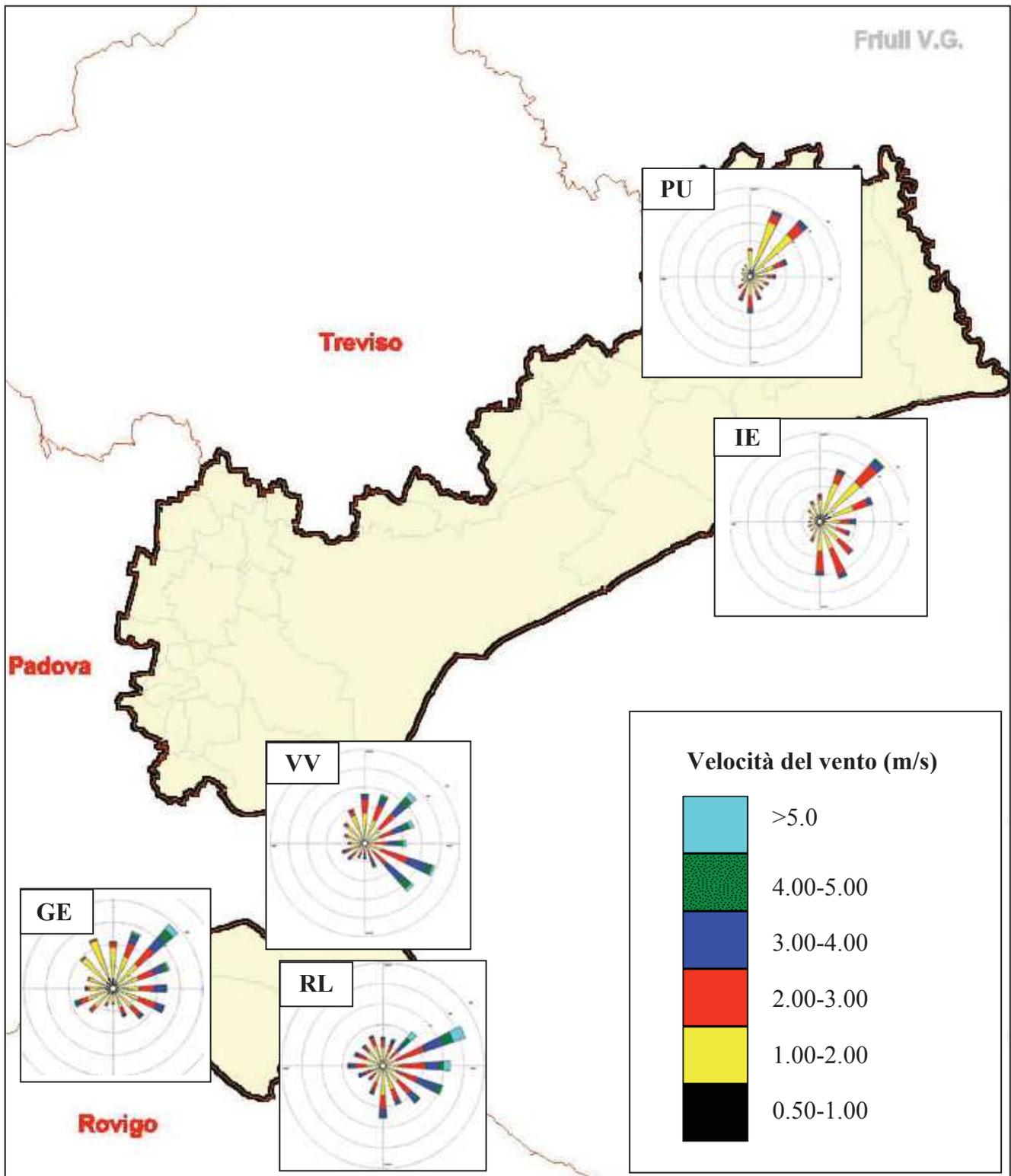


Fig. 11.48 - Rose dei venti medie estive elaborate per le stazioni di Portogruaro (PU), Cavallino Treporti (IE), Valle Averso (VV), Rosolina (RL), Gesia Cavarzere (GE).

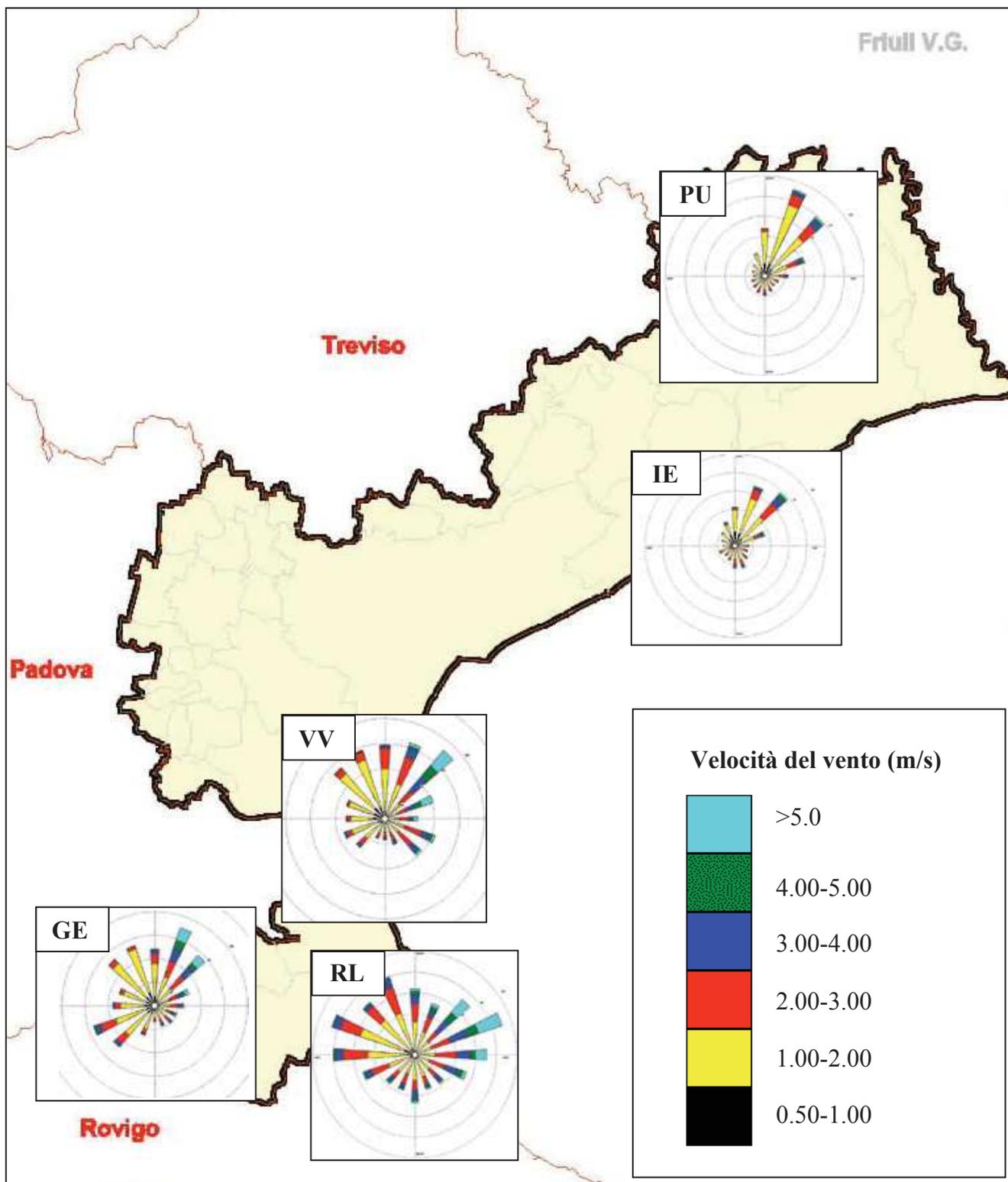


Fig. 11.49 - Rose dei venti medie autunnali elaborate per le stazioni di Portogruaro (PU), Cavallino Treponti (IE), Valle Averso (VV), Rosolina (RL), Gesia - Cavarzere (GE).

ANALISI METEO-CLIMATICA DELL'EVENTO PLUVIOMETRICO DEL 26 SETTEMBRE 2007 NEL VENEZIANO

ARPAV-DRST Centro Meteorologico di Teolo

Adriano Barbi, Gabriele Formentini, Marco Monai, Francesco Rech, Franco Zardini

La mattina di mercoledì 26 settembre 2007 un intenso e persistente sistema temporalesco interressa con forti precipitazioni la fascia costiera centro-meridionale del Veneto tra il piovese (zona sud-orientale della provincia di Padova), il veneziano centrale e il basso trevigiano colpendo in modo particolare la zona adiacente alla laguna tra Codevigo (PD) e Venezia Mestre (Fig. 11.50).

I fenomeni risultano in prevalenza concentrati nell'arco di 6 ore, tra le prime ore della notte e la mattinata del 26; le precipitazioni registrano picchi massimi di intensità particolarmente elevati al primo mattino, tra le ore 5 e le ore 8 solari circa, con valori che in alcune località monitorate dalla rete di stazioni meteorologiche dell'ARPAV superano i 100 mm circa in un'ora e i 200 mm in 3 ore.

A fine evento, presso alcune stazioni meteo nelle aree più colpite, si registrano quantitativi di pioggia ragguardevoli: 324,6 mm a Valle Averte (VE), 260,4 mm a Mestre-Marghera (VE), 166,4 mm a Mogliano (TV), 165,8 mm a Mira (VE), 160,2 mm a Codevigo (PD), 128,0 mm a Roncade (TV), 123,4 mm a Cavallino Treporti (VE), 118,8 mm a Venezia-Istituto Cavanis. La parte meridionale del trevigiano registra 80-90 mm, mentre nel resto della regione cadono precipitazioni dell'ordine dei 10-30 mm, localmente anche inferiori a 1 mm nelle province di Verona e Rovigo.

Tale distribuzione delle precipitazioni, così diversificata spazialmente, è da attribuirsi alla natura spiccatamente convettiva dei fenomeni.



Fig. 11.50 - Una foto scattata la mattina del 26 settembre 2006 in un quartiere di Mestre.

Situazione meteorologica ed evoluzione dei fenomeni registrati.

Nelle prime ore della notte di mercoledì 26 settembre sull'Italia settentrionale si forma un nucleo di bassa pressione al suolo centrato sul Golfo Ligure mentre in quota si sta approfondendo una saccatura, con aria fredda di origine artica, estesa dal Nord Europa alla Francia meridionale in rapido avvicinamento all'arco alpino (Fig. 11.51).

Nel corso della notte si intensificano i venti in quota dai quadranti meridionali per il sopraggiungere della saccatura che nel frattempo ha raggiunto con la sua propaggine meridionale le Alpi occidentali, mentre a livello del suolo i venti si dispongono da sud-est sull'Alto Adriatico e da nord-est nell'entroterra veneto.

Poco dopo la mezzanotte si forma in prossimità del confine tra le province di Padova e Venezia, tra Piove di Sacco e Codevigo, una prima cella temporalesca in successivo sviluppo ed estensione verso nord destinata poi a interessare il veneziano centrale, e in particolar modo la zona adiacente alla laguna tra Codevigo e Venezia.

In dettaglio le immagini provenienti dal radar meteorologico posizionato sul Monte Grande (Teolo-PD) permettono di individuare, nelle prime due ore

dopo la mezzanotte solare, nella parte occidentale della provincia di Venezia, tre - quattro piccole celle temporalesche piuttosto localizzate che, nel corso dell'intervallo di tempo citato, tendono ad organizzarsi lungo una struttura lineare disposta lungo la direttrice SW-NE. Tale piccola linea si muove lentamente in direzione NW verso l'entroterra andando a interessare la provincia di Padova. Successivamente a questo primo episodio, si sviluppano due dei sistemi convettivi più significativi dell'intero evento.

A seguito della prima modesta linea di celle temporalesche, dopo le ore 2 solari circa si sviluppa nella parte più occidentale della provincia di Venezia (Fig. 11.52), nell'area compresa tra i comuni di Campogara, Campolongo Maggiore e Vigonovo, una cella temporalesca piuttosto isolata che assume le caratteristiche di mini-supercella (*echo-top* inferiore ai 6-7 km di altezza), le cui caratteristiche salienti sono evidenziabili da un'attenta analisi tridimensionale dei dati radar (Fig. 11.53).

Una supercella è un temporale isolato in grado di scaricare a terra grandi quantità di acqua, grandine e spesso è associato anche a moti vorticosi. Trattandosi di una struttura poco estesa in altezza la fenomenologia più probabile o comunque prevalente

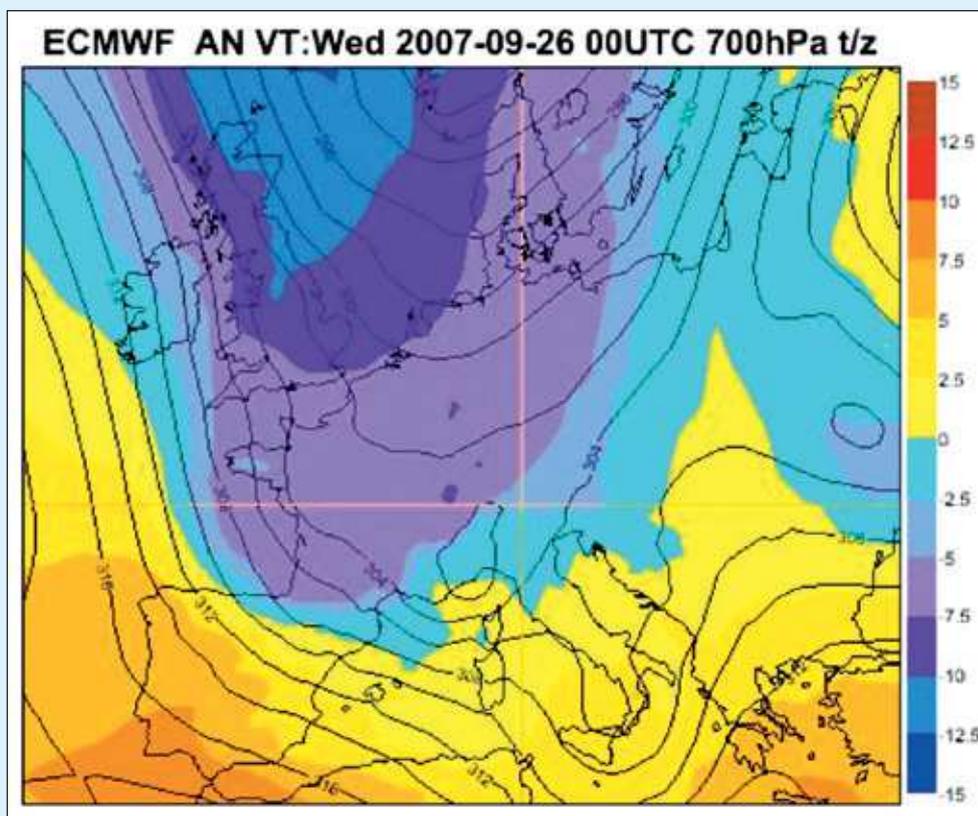


Fig. 11.51 - Analisi alle ore 00 UTC (ore 1.00 solare) di mercoledì 26 del geopotenziale (linee nere in decimetri) e della temperatura in quota (aree colorate in °C) a 700 hPa, pari a 3000 m circa di quota.

Si nota la saccatura di aria fredda estesa dal Nord Europa alla Francia; sull'Italia è già presente un nucleo depressionario sulle regioni nord-occidentali mentre sulle regioni meridionali si può notare un secondo minimo depressionario che favorisce nei bassi strati dell'atmosfera una rimonta di aria caldo-umida lungo l'Adriatico.

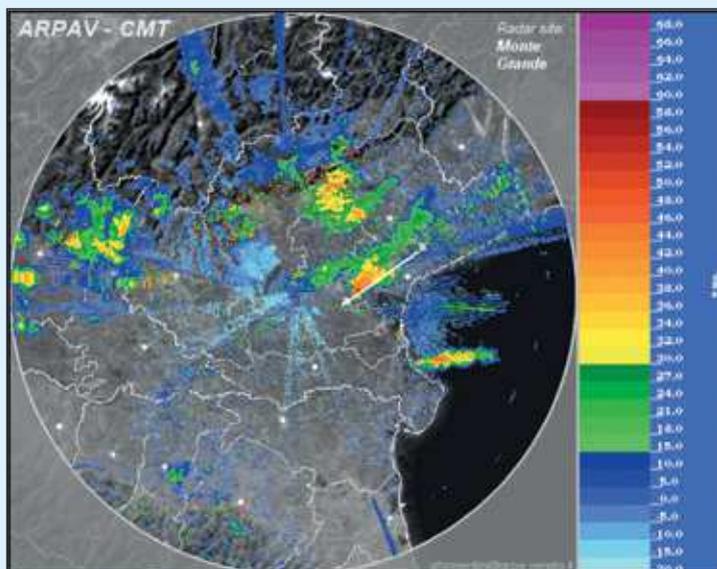


Fig. 11.52 - PPI di riflettività del radar di Monte Grande alle ore 2.00 solari.

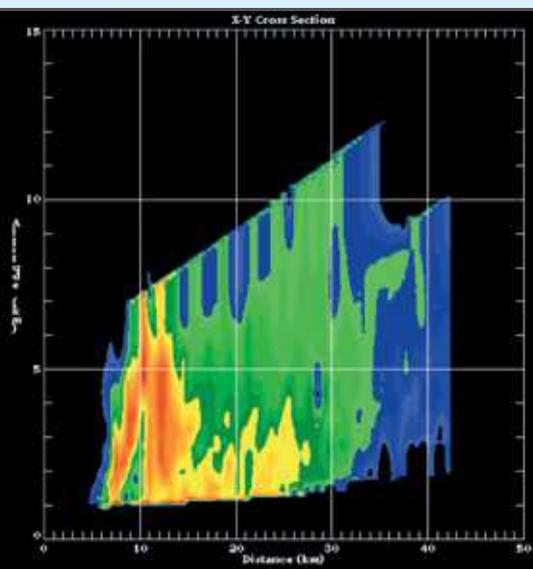


Fig. 11.53 - Sezione verticale dei dati radar di Monte Grande effettuata lungo la linea A-B della Fig. 11.50.

è la pioggia intensa. Tra le 2.30 e le 3.50 questa prima mini-supercella tende ad indebolirsi nel suo lento spostamento verso l'entroterra, mentre una seconda struttura convettiva dalle stesse caratteristiche si origina sempre nella stessa area geografica, grazie alla confluenza dei venti di *outflow* (venti al suolo che escono dalla base di un temporale e che divergono in tutte le direzioni) della prima mini-supercella e ai venti da ESE presenti sulla laguna di Venezia. Una struttura supercellulare, essendo per definizione un elemento convettivo isolato, ha necessità, per autorigenerarsi, di un flusso indisturbato nel settore sud-orientale della stessa. La presenza invece di altre piccole celle non organizzate nell'area di Chioggia de-struttura rapidamente il sistema.

Tra le ore 5 e le ore 6 solari l'evoluzione del sistema precipitativo presente sull'area del Veneziano cambia assumendo altre caratteristiche. Infatti da supercellulare la convezione si trasforma in un sistema multicellulare. Questo grazie all'iniezione di aria molto umida ed instabile proveniente da est che aumenta l'effetto di convergenza già presente sull'area in esame. Infatti, dalle prime ore della notte e fino al mattino, il vento al suolo continua a provenire, con intensità crescente, da sud-est sul mare, mentre nell'immediato entroterra e nel resto della pianura assume direzione nordorientale. Tale situazione favorisce la formazione, a piccola scala in prossimità della costa centro-meridionale del Veneto, di una linea di convergenza dei venti e di scontro di masse d'aria con caratteristiche igrotermometriche diverse (aria caldo-umida proveniente dal mare ancora relativamente caldo e aria più fresca continentale nell'entroterra) che causano una forte instabilità atmosferica e la formazione a

più riprese di diverse celle temporalesche intense che colpiscono per più ore la stessa area.

Un sistema multicellulare non è altro che un insieme di cumulonembi a diversi stadi di sviluppo disposti lungo strutture lineari (in questo caso da sud a nord; Fig. 11.54), che con un meccanismo di rigenerazione si continuano a formare sempre sullo stesso punto geografico grazie al perdurare al suolo di condizioni favorevoli al loro sostentamento. E' quello che succede dopo le 6 solari, quando la convezione si potenzia ulteriormente, cosa che è riscontrabile anche dal *top* dei cumulonembi che da satellite raggiungono la temperatura di -55°C .

In queste ore i pluviometri registrano al suolo forti piogge che raggiungono una massima intensità tra le ore 5 e le ore 8 solari circa quando presso la stazione di Mestre-Marghera si registrano punte massime di oltre 90 mm in 30 min, oltre 120 mm in un'ora e 200 mm in 3 ore tra le ore 5.30 e le ore 8.30 circa mentre a Valle Averte (in comune di Campagna Lupia, a circa 20 km a sud-ovest rispetto a Mestre) si osservano intensità massime di 75 mm in mezz'ora, oltre 100 mm in un'ora e 250 mm circa in tre ore.

Per meglio comprendere l'estrema rilevanza dei fenomeni si ricorda che la precipitazione totale annua in queste zone raggiunge mediamente i 700-800 mm; inoltre, secondo una classificazione standard, viene riconosciuta come nubifragio una precipitazione di almeno 40 mm in mezz'ora o 60 mm in un'ora. Bisogna altresì considerare che da una prima sommaria analisi compiuta sulle singole immagini radar, le località monitorate dalle stazioni pluviometriche dell'ARPAV potrebbero non rappresentare le aree che hanno ricevuto i maggiori quantitativi di pioggia; pertanto è possibile che localmente

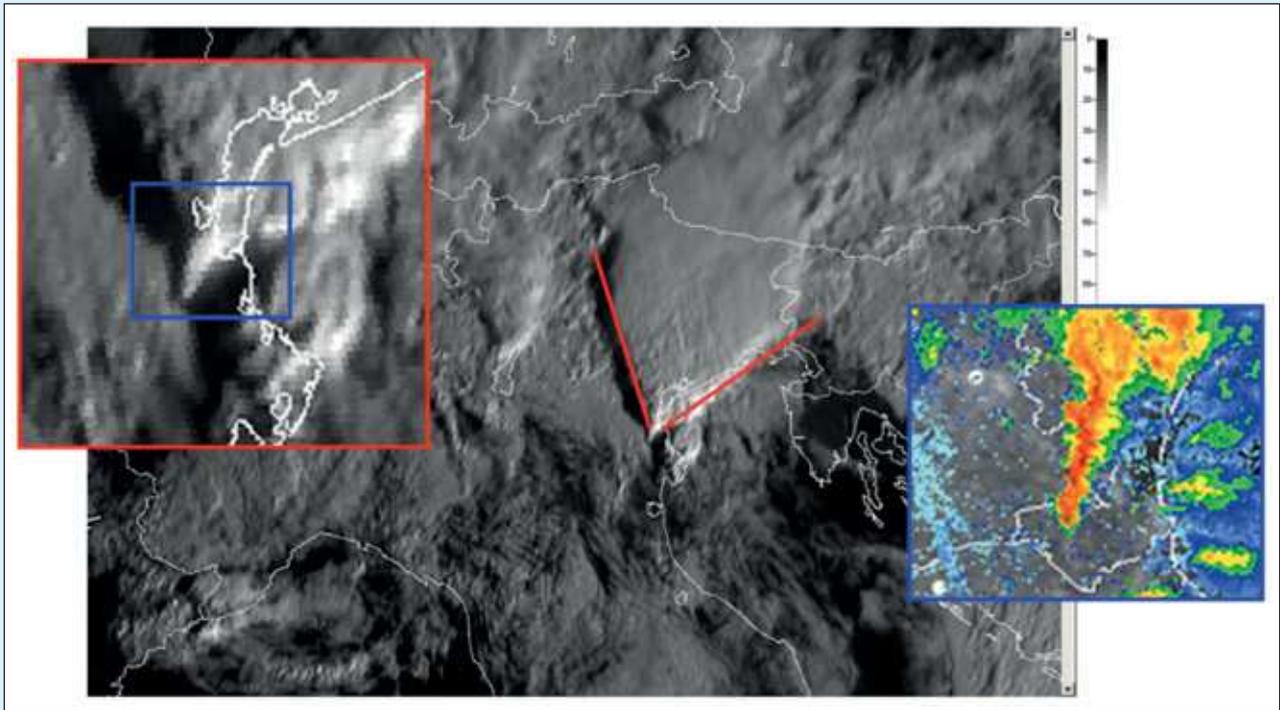


Fig. 11.54 - Immagine delle ore 8 solari del satellite MET-9, canale HRV visibile (copyright: EUMETSAT, elaborazione ARPAV-CMT). Nel riquadro a sinistra è ben evidente la parte più meridionale della V del sistema convettivo e nel riquadro azzurro a destra la corrispondente immagine radar con i singoli cumuli allineati lungo la direttrice S-N (*flanking line*).

i quantitativi siano risultati anche superiori a quelli registrati dalle stazioni.

Successivamente, alle ore 8 solari la perturbazione ha l'aspetto di un sistema convettivo a mesoscala con chiara forma a V (V-shape Mesoscale Convective System) (Fig. 11.53), in pratica un grande insieme di cumulonembi che si originano continuamente in un punto geografico (il vertice della V). La rigenerazione che continua in un unico punto

rappresenta l'elemento chiave capace di produrre i tipici effetti da *Flash Flood* (alluvione lampo) riscontrati in diverse aree geografiche.

Nel corso della mattinata il sistema multicellulare si sposta con estrema lentezza verso est e tra le 9 e le 10 solari inizia a diminuire di intensità, mentre negli stessi istanti un altro sistema multicellulare prende vita nell'area del Delta del Po. Questo secondo sistema si potenzierà nelle ore successive, ma spo-

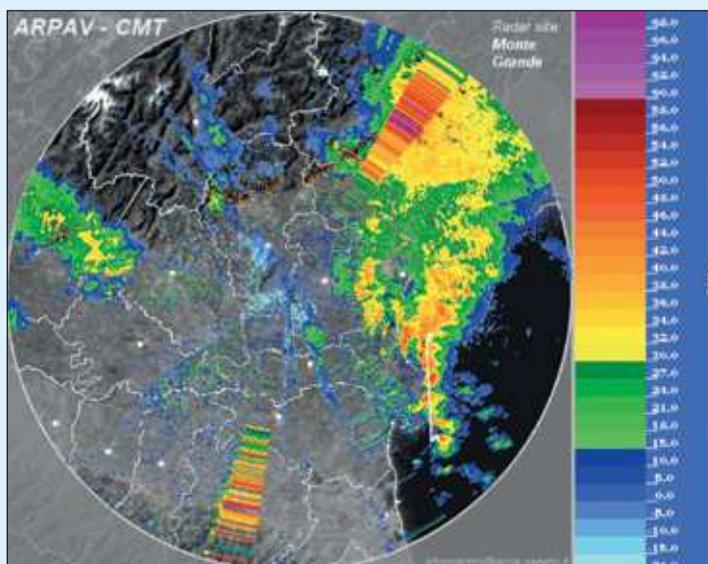


Fig. 11.55 - PPI di riflettività del radar di Monte Grande alle ore 10 solari circa.

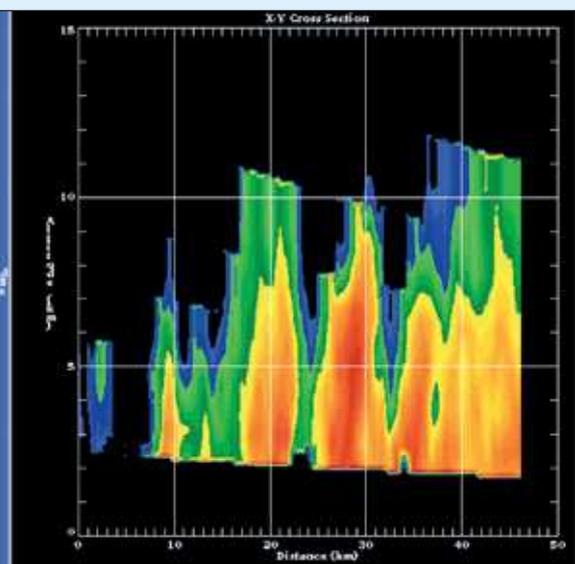


Fig. 11.56 - Sezione verticale dei dati radar di Monte Grande effettuata lungo la linea A-B della Fig. 11.53.

standosi sul mare non darà, in seguito, alcun effetto sulla terraferma (Figg. 11.55 e 11.56).

In sintesi le piogge molto intense e persistenti che hanno colpito l'area sono riconducibili alla formazione e alla continua rigenerazione sul posto di celle temporalesche alimentate nei bassi strati da correnti caldo-umide provenienti dal mare (ancora caldo dopo il periodo estivo). I fenomeni sono risultati particolarmente abbondanti e persistenti anche per un probabile effetto di convergenza di venti al suolo, verificatosi per diverse ore nell'area intorno alla laguna di Venezia, che hanno favorito lo sviluppo di celle temporalesche intense.

Riassumendo, gli elementi meteorologici chiave che hanno determinato l'evoluzione descritta sono stati:

- convergenza dei venti nei livelli più bassi dell'atmosfera, forti sul mare da sud-est fino in prossimità della costa e moderati/forti da nord-est sull'entroterra;
- trasporto dal mare di aria calda e umida e quindi molto instabile che contribuisce al potenziamento della convezione (ascesa di aria verso l'alto) e quindi allo sviluppo di celle temporalesche ulteriormente favorito dal contrasto termico tra terra e mare;
- la presenza di moderato *shear* (variazione della direzione del vento con la quota) ha favorito l'organizzazione della convezione in più sistemi multicellulari;
- i venti non particolarmente forti alle quote medie (3000-5000 metri) hanno contribuito alla persistenza della genesi dei cumulonembi (*flanking line*) nello stesso punto geografico;
- la presenza della corrente a getto alle alte quote (*left-exit region*), che genera divergenza dei venti in quota, ha intensificato la convergenza di basso livello.

Analisi dei dati registrati dalle stazioni meteorologiche dell'ARPAV

Si riporta di seguito la mappa delle isoiete (Fig. 11.57), relative ai dati di precipitazione totale nelle 24 ore (tra le 00 e le 24 solari) del giorno 26.09.2007 rilevati dai 161 pluviometri della rete di stazioni meteorologiche dell'ARPAV.

Le precipitazioni più abbondanti risultano concentrate in prossimità della fascia costiera centro-meridionale del Veneto, tra l'estrema propaggine sud-orientale della provincia di Padova, il veneziano centrale e la parte meridionale della provincia di Treviso. Le stazioni che rilevano i totali pluviometrici maggiori sono: Valle Averso, nel comune di Campagna Lupia, (VE) con 324,6 mm, Mestre-Marghera (VE) con 260,4 mm, Mogliano Veneto (TV) con 166,4 mm, Mira (VE) con 166 mm, Codevigo (PD) con 160 mm, Roncade (TV) con 128 mm, Caval-

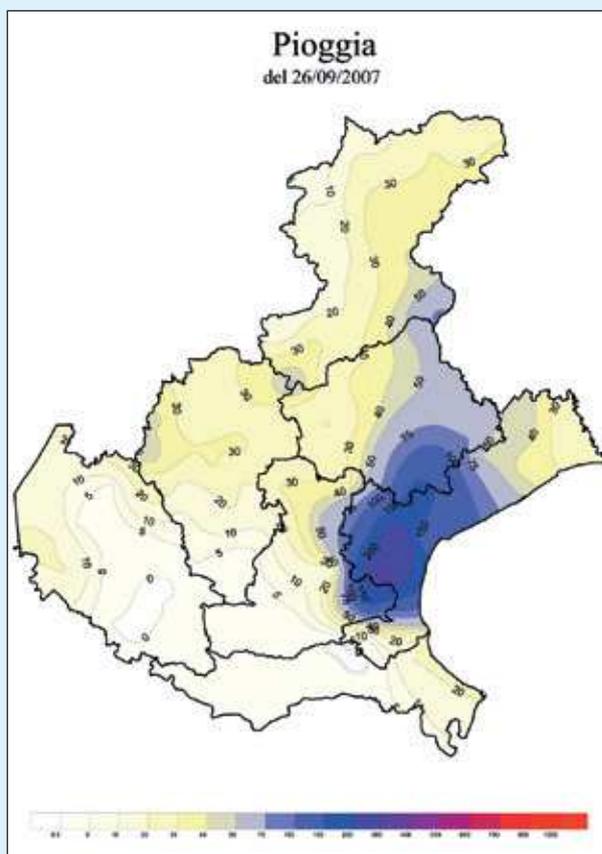


Fig. 11.57 - Mappa delle isoiete [mm] sul Veneto del giorno 26 settembre 2007, elaborata sulla base dei dati pluviometrici registrati dalle stazioni meteorologiche dell'ARPAV.

lino Treporti (VE) con 123 mm e Venezia - Istituto Cavanis con 119 mm.

Sul resto della regione si registrano 50-100 mm nel trevigiano centro-meridionale e orientale e nella zona del Cansiglio, altrove in prevalenza tra i 20 e i 50 mm salvo sulla pianura centro-occidentale e prealpi occidentali ove i quantitativi risultano inferiori se non assenti.

Nel grafico che segue (Fig. 11.58) sono riportati i diagrammi di precipitazione progressivamente accumulata dalle ore 01 alle ore 13 solari del 26 settembre in alcune delle stazioni più colpite: si distinguono tra tutte le due stazioni di Marghera e Valle Averso (linee blu e rossa rispettivamente) che già intorno alle ore 6.30 solari raggiungono i 100 mm, verso le ore 7 superano i 150 mm per raggiungere poco dopo i 200 mm e portarsi verso i 250 mm a Marghera e 300 mm circa a Valle Averso intorno alle ore 8.30-9.00. Per comprendere meglio l'intensità dei fenomeni registrati in queste due stazioni si sottolinea anche come il 90% circa della precipitazione totale registrata il 26 settembre sia caduta nell'arco di 6 ore e il 75% circa in sole 3 ore. Le altre stazioni assumono un andamento più contrastato, con quantitativi nettamente inferiori, in alcuni casi distribuiti su due o più fasi intense (Codevigo,

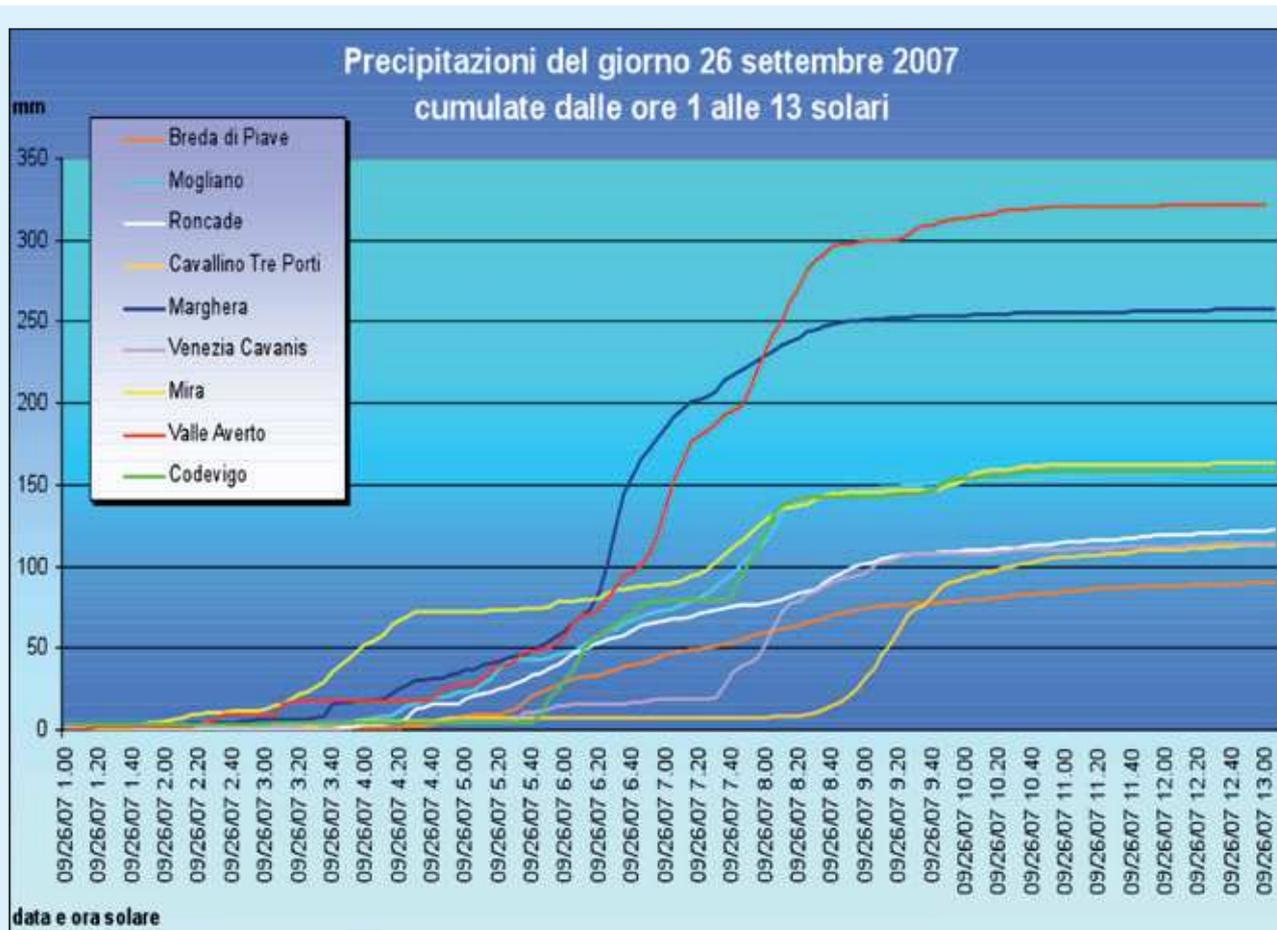


Fig. 11.58 - Andamento delle precipitazioni progressivamente accumulate dalle ore 1.00 (solari) alle ore 13 del 26 settembre 2007 registrate presso alcune stazioni meteorologiche.

Mira) in altri casi distribuiti in una singola fase più prolungata (Mogliano, Roncade, Breda di Piave) o più concentrata e sfasata di qualche ora in avanti (Cavallino Treporti e Venezia Istituto Cavanis).

Confronto con alcuni eventi intensi registrati in passato, in particolare a Mestre

Va segnalato che l'area in esame non è nuova ad eventi estremi specialmente in questa stagione. Pur non raggiungendo i valori eccezionali di questo evento, circa un anno prima, tra il 14 e il 17 settembre 2006, nella stessa zona si verificarono precipitazioni assai abbondanti. Presso la stazione di Mestre-Marghera furono registrati circa 225 mm in 3 giorni, di cui 110 mm circa in 12 ore, tra il giorno 14 e il 15, e 100 mm circa in 6 ore nelle prime ore del 15; a Mira furono registrati circa 220 mm in 3 giorni, di cui oltre 100 mm in 12 ore e 80 mm circa in 6 ore, tra il giorno 14 e il 15.

Un possibile confronto storico è rappresentato attraverso la tabella (Tab. 11.3) e il relativo grafico (Fig. 11.59) che seguono, ove sono riportate le massime intensità di precipitazione registrate a Mestre-Marghera in occasione del 26 settembre 2007 e i

massimi precedenti validi per Mestre, relativi al periodo 1992-2006 (fonte ARPAV) e al periodo storico disponibile dal 1956 al 1995 (fonte ex Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale). Nel grafico sono stati inoltre evidenziati, con le linee rosse orizzontali, i valori di precipitazione stimati aventi tempo di ritorno pari a 100 anni per gli intervalli da 1 ora a 12 ore (con legge di Gumbel sulla serie di dati disponibili tra il 1956 e il 1995).

Da tale confronto emerge chiaramente l'eccezionalità dei valori di pioggia registrati a Mestre in occasione dell'evento del 26 settembre 2007: in tutti gli intervalli temporali sono stati superati abbondantemente, anche di 2-3 volte, i valori massimi precedenti relativi sia al periodo 1992-2006 che al periodo 1956-1995 per gli intervalli da 1 ora a 12 ore.

	26-set-07	max 1992-2006	max 1956-1995
Intervallo temporale di riferimento	Mestre Marghera	Mestre (Palazzo Gazzettino+Marghera)	Mestre SIMN
5 minuti	24 mm 26/09/2007	12,8 mm 09/07/2001	
10 minuti	42,2 26/09/2007	22,8 09/07/2001	
15 minuti	59,2 26/09/2007	33 25/08/1994	
30 minuti	91,2 26/09/2007	51,6 25/08/1994	
45 minuti	111,4 26/09/2007	55,2 25/08/1994	
1 ora	126,6 26/09/2007	55,6 25/08/1994	50,6 mm 06/09/1972
3 ore	201 26/09/2007	60,6 06/07/1993	90 17/10/1990
6 ore	246,8 26/09/2007	103,4 15/09/2006	107,6 17/10/1990
12 ore	257,6 26/09/2007	111,4 15/09/2006	129,8 17/10/1990

Tab. 11.3 - Massime intensità di precipitazione registrate a Mestre-Marghera in occasione del 26 settembre 2007 e confronto con i massimi precedenti validi per Mestre, relativi al periodo 1992-2006 (fonte ARPAV) e al periodo storico disponibile dal 1956 al 1995 (fonte SIMN - ex Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale).

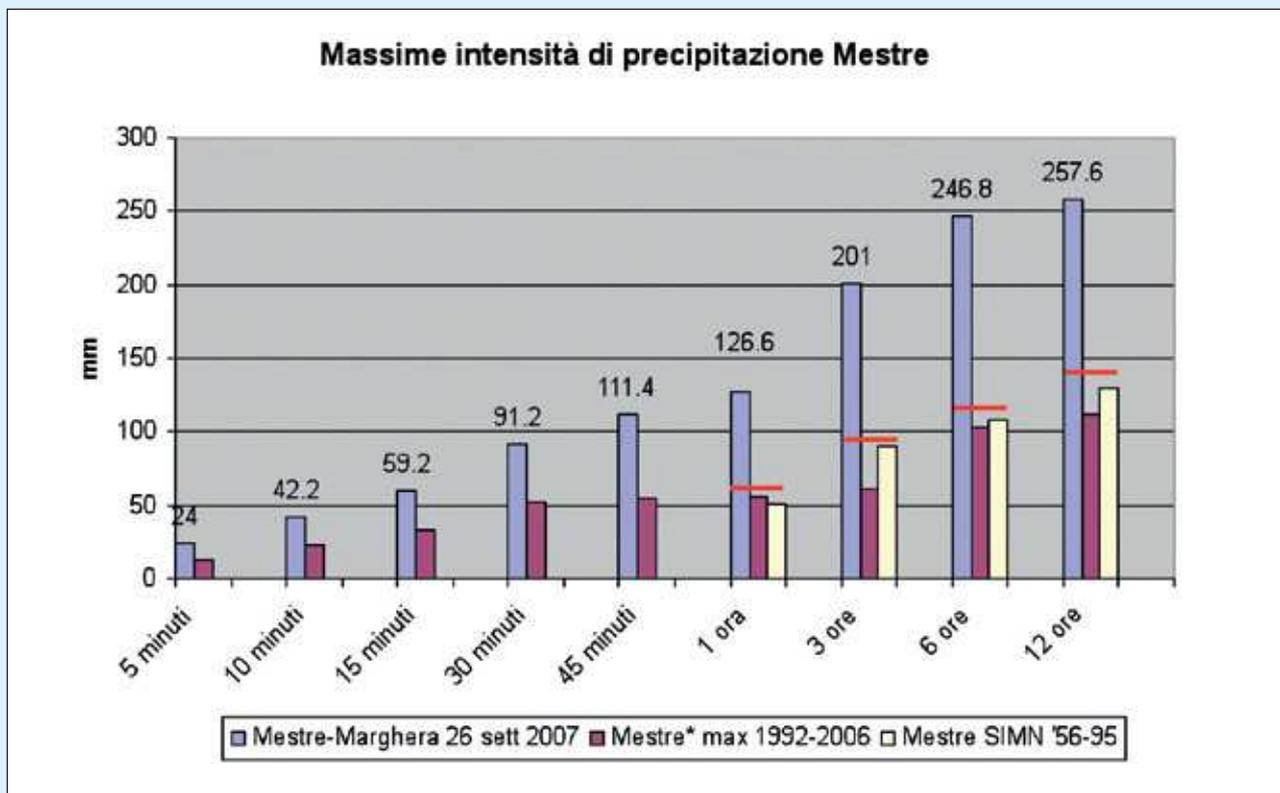


Fig. 11.59 - Confronto grafico tra le massime intensità di precipitazioni negli intervalli da 5 minuti a 12 ore, registrate il 26 settembre 2007 a Mestre-Marghera, e le massime intensità storiche registrate nei periodi 1992-2006 (fonte ARPAV) e 1956-1995 (fonte ex SIMN). Evidenziati con le linee rosse orizzontali, i valori di precipitazione stimati aventi tempo di ritorno pari a 100 anni per gli intervalli da 1 ora a 12 ore (con legge di Gumbel sulla serie di dati disponibili tra il 1956 e il 1995).

12 IDROGEOLOGIA

PIETRO ZANGHERI¹

12.1. LA RISORSA IDRICA SOTTERRANEA IN PROVINCIA DI VENEZIA - ASPETTI GENERALI, METODOLOGIE DI STUDIO E STATO DELLE CONOSCENZE

12.1.1. Lo stato delle conoscenze e gli studi pregressi

La Provincia di Venezia, anche in sinergia con altri enti territoriali, ha attuato un sistematico programma per l'individuazione e la caratterizzazione degli acquiferi del proprio territorio che, partendo da una situazione di pressoché totale assenza di conoscenze, ha portato a una definizione del quadro idrogeologico generale, della distribuzione dei diversi acquiferi e alla loro caratterizzazione quantitativa e, in parte, qualitativa.

Le acque sotterranee sono nel contempo risorse ambientali di interesse per molteplici usi, compresi quelli di pregio quali quelli potabili e termali, ma anche elemento interferente con opere che sempre più vanno a svilupparsi nel sottosuolo (opere di ingegneria, ma anche geosonde).

Si possono ricondurre le attività della Provincia per la conoscenza idrogeologica del suo territorio principalmente a due scopi:

- caratterizzare la risorsa al fine di razionalizzarne gli usi;
- definire le potenziali interferenze con gli acquiferi delle attività antropiche.

Le risorse idriche sotterranee risultano distribuite in modo non uniforme sia per quantità che per qualità. Le aree a maggiore presenza di risorsa pregiata sono l'alto miranese (comuni di Scorzé, Noale e parte settentrionale dei comuni di Salzano e Martellago) e l'alto portogruarese.

E' da evidenziare inoltre la presenza di acque termali (con temperature massime di circa 50 °C) nella bassa pianura del Tagliamento ai confini con il Friuli Venezia Giulia.

Ricche risultano le risorse idriche sotterranee in varie parti del territorio, tanto che l'economia di vaste aree si è sviluppata proprio grazie alla presenza di questa risorsa. A titolo di esempio si possono citare le colture orticole dell'area di Scorzé e del litorale del Cavallino e la fiorente attività di estrazione di acque per imbottigliamento nell'area di Scorzé.

Diversi progetti sono stati dedicati al tema delle risorse idriche sotterranee. In relazione a una competenza in tema di acque condivisa con vari altri enti, questi lavori sono stati svolti in modo sinergico con molteplici enti pubblici e di ricerca (Consorti di boni-

fica, AATO Laguna di Venezia, CNR, Regione Veneto, Comuni ...). In particolare si segnala che ben 42 (su 44) Comuni hanno partecipato economicamente alla "Indagine idrogeologica del territorio provinciale di Venezia".

Tra i vari studi si ricordano:

- Indagine idrogeologica del territorio provinciale di Venezia (pubblicata nel 2000);
- Rete di monitoraggio delle acque sotterranee (pubblicata nel 2000);
- Indagine sulle acque sotterranee del portogruarese (pubblicata nel 2001);
- Progetto Cartografia Geologica CARG, di cui la Provincia è stata responsabile per l'idrogeologia dei fogli 1:50.000 Venezia, Chioggia-Malamocco e Portogruaro (i primi due pubblicati nel 2007 e l'ultimo nel 2011);
- Progetto ISES - Intrusione Salina E Subsidenza (pubblicato nel 2003);
- Indagine idrogeologica sull'area di Porto Marghera (prima fase completata nel 2002 e seconda fase nel 2009);
- Progetto IDRO (Studio idrogeologico degli acquiferi superficiali e interferenza con gli interventi antropici nel sottosuolo; in corso, scheda in questo capitolo).

Vanno inoltre ricordati i seguenti progetti svolti da altri Enti che hanno permesso importanti approfondimenti su alcune parti del territorio provinciale:

- "Indagine per lo studio delle risorse geotermiche nel basso territorio portogruarese" (2007), svolto dal Consorzio di Bonifica Pianura Veneta tra Livenza e Tagliamento, in base alla D.G.R.V. n° 2245/02 e realizzato in modo sinergico con il citato Progetto CARG - Foglio Portogruaro;
- "Bilancio idrogeologico" dell'A.A.T.O. Laguna di Venezia² (pubblicato nel 2010), specificatamente

¹ Geologo - Studio Tecnico Zangheri & Basso - Padova - www.progettazioneambientale.it.

² L'Ente di coordinamento dell'Autorità d'Ambito Territoriale Ottimale "Laguna di Venezia" è la Provincia di Venezia, il cui Presidente è anche Presidente dell'A.A.T.O. L'Autorità pianifica e controlla, in base alla Legge Galli (ora sostituita dal D.Lgs. n° 152/2006), il sistema idrico integrato (S.I.I.) di un bacino idrogeologico che comprende 25 comuni (tra cui Venezia) estesi su due province venete: Venezia e Treviso. Il territorio ha un'estensione di 1266 km², con un bacino d'utenza di quasi 650.000 abitanti su cui opera attualmente come unico gestore VERITAS spa (risultante dalla fusione dei quattro enti gestori precedentemente presenti). Il minimo comune denominatore del territorio dei comuni dell'A.A.T.O. è il corpo idrico ricettore degli scarichi: la Laguna di Venezia.

dedicato all'area di risorsa idropotabile del territorio AATO che interessa anche la parte centrale della provincia di Venezia (comuni di Scorzé, Noale, Martellago e Salzano), oltre a 5 comuni della provincia di Treviso.

Un'attività ventennale di indagini idrogeologiche sul territorio provinciale ha quindi portato a definire il quadro di riferimento sulle risorse idriche sotterranee. Questo quadro è stato poi dettagliato dalla Provincia e/o da altri enti nei suoi aspetti di parametrizzazione idrogeologica, bilancio idrico, idrodinamica sotterranea ecc., in rapporto alle specifiche esigenze e competenze. E' significativo come gli studi della Provincia siano serviti da base per sviluppare gli approfondimenti necessari ad altri enti. Si cita il caso dell'AATO Laguna di Venezia per la gestione della risorsa idropotabile e quello di ARPAV per le reti di monitoraggio delle acque sotterranee.

12.1.2. Risorse idriche degli acquiferi confinati "profondi" e degli acquiferi "superficiali"

In questo testo, per semplicità di esposizione, si utilizzerà la seguente suddivisione convenzionale tra:

- *acquiferi superficiali* presenti in modo discontinuo nei primi 20-30 m di profondità, alloggiati in acquiferi sabbiosi e, localmente, ghiaiosi, generalmente non confinati o debolmente confinati;
- *acquiferi profondi* confinati (tra 30 e 600 m di profondità).

Questa suddivisione, oltre a rispondere a diverse metodologie di studio e a un diverso grado di conoscenze, trova rispondenza in termini di applicazioni pratiche in:

- gli *acquiferi superficiali* vengono comunemente considerati come risorse di scarso interesse, in relazione alla bassa qualità delle acque e al modesto grado di protezione degli acquiferi. Si tratta però degli acquiferi che vengono a contatto, interferiscono e influenzano molte attività antropiche, che vanno da quelle agricole alla realizzazione di opere di ingegneria. Negli ultimissimi tempi, in relazione al rapido sviluppo di sistemi di scambio termico (pompe di calore) sta crescendo l'interesse per questi acquiferi per il potenziale utilizzo di sistemi geotermici a circuito aperto (con o senza reimmissione in falda) e a circuito chiuso (geosonde);

RISORSE IDRICHE E BILANCIO IDROGEOLOGICO DELL'AUTORITÀ D'AMBITO TERRITORIALE OTTIMALE (AATO) "LAGUNA DI VENEZIA"³

Scheda a cura di Pietro Zangheri

Il piano d'ambito, previsto dalla vigente normativa in tema di Sistema Idrico Integrato come principale strumento del Sistema stesso, prevede necessariamente un'adeguata conoscenza della disponibilità e delle caratteristiche delle fonti idropotabili di interesse acquedottistico.

L'AATO Laguna di Venezia nel redigere il proprio piano d'ambito ha dedicato particolare attenzione a questo tema come elemento imprescindibile di una corretta programmazione e gestione della risorsa idrica. E' così stato avviato un programma di approfondimento geologico e idrogeologico sull'intera area di risorsa idropotabile che ha portato alla definizione del quadro geologico di riferimento e a un primo bilancio idrogeologico.

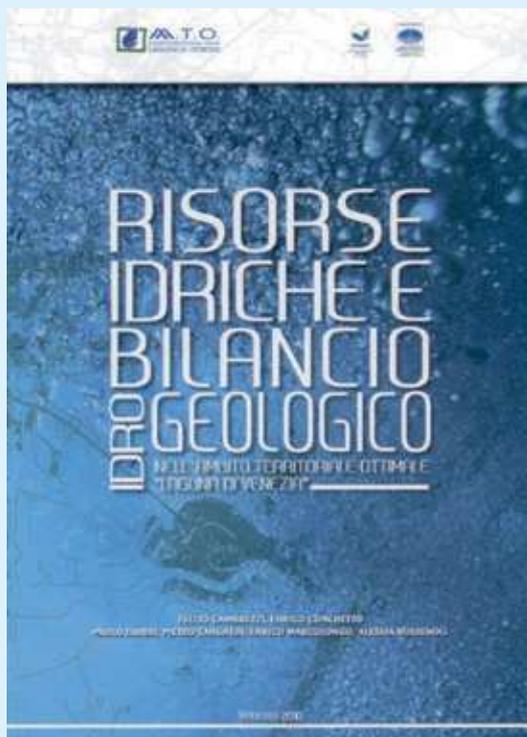
Il lavoro è stato svolto dal Dipartimento di Geoscienze dell'Università di Padova, con la collaborazione fattiva, sia in campo che in fase di elaborazione, del personale dell'AATO Laguna di Venezia.

Data la parziale sovrapposizione di interessi con la Provincia di Venezia (a cui compete anche la Presidenza dell'AATO), l'attività ha portato alla condivisione della banca idrogeologica del Servizio Geologico

provinciale con l'AATO e il Dipartimento di Geoscienze.

I risultati, che vengono ripresi nella parte dedicata all'idrogeologica dell'area centrale della provincia, saranno di base, oltre che per tematiche gestionali, per numerose applicazioni, quali le reti di monitoraggio di allarme e la protezione dinamica dei campi pozzi acquedottistici, il monitoraggio degli acquiferi di interesse idropotabile e la razionalizzazione e ottimizzazione nella distribuzione delle opere di presa acquedottistiche.

Il lavoro è disponibile in una monografia edita dall'AATO (CAMBRUZZI *et al.*, 2010a) e richiedibile all'AATO stesso.



³ www.atolagunadivenezia.it/

- gli *acquiferi confinati “profondi”* sono quelli interessati dagli utilizzi più significativi (pozzi acquedottistici, industriali ecc.), soprattutto nelle aree dove per qualità e quantità le risorse idriche acquisiscono maggior pregio.

12.1.3. Complessità geologica e variabilità della distribuzione della risorsa idrica

Altre parti del presente Atlante illustrano la complessità e la variabilità geologica del territorio provinciale. A questa complessità geologica corrisponde un’altrettanto complessa distribuzione degli acquiferi.

Nelle prime centinaia di metri di sottosuolo si trovano diversi acquiferi confinati, tra loro sovrapposti e con caratteristiche di trasmissività, qualità delle acque e modalità di ricarica e deflusso estremamente variabili.

Il sottosuolo è caratterizzato per alcune centinaia di metri da sedimenti sciolti, di granulometria compresa tra le argille e le ghiaie, che poggiano su un substrato prequaternario. Questi sedimenti contengono una serie di acquiferi confinati e sovrapposti alloggiati prevalentemente in sabbie e ghiaie. Il confinamento è dato da spessi livelli argillosi e limosi.

Nei primi metri di sottosuolo si ha un acquifero freatico, attualmente oggetto di specifici approfondimenti, a bassa trasmissività, discontinuo, che in alcune aree aumenta significativamente di trasmissività in coincidenza con importanti strutture geomorfologiche.

L’interazione tra questi acquiferi e l’uomo è molto elevata. Gli acquiferi sono oggetto di utilizzo a diverso scopo: dal potabile all’imbottigliamento, dall’industriale all’irriguo. Gli acquiferi più superficiali sono poi spesso a diretto contatto con molte attività umane, come le opere in sotterraneo e le attività agricole.

Date queste premesse, risulta immediatamente evidente come il quadro conoscitivo idrogeologico sia elemento imprescindibile di una gestione del territorio. Inoltre, a fronte di vincoli posti spesso genericamente su base comunale o areale, i dati raccolti evidenziano come una corretta gestione delle risorse sotterranee debba basarsi sulla caratterizzazione e definizione degli acquiferi considerando la complessità tridimensionale del sottosuolo.

12.1.4. Metodologia

Il quadro idrogeologico a scala provinciale deriva, come visto, da differenti studi svolti nel tempo con metodologie e dettagli differenti. Ciononostante i diversi lavori sono accomunati da alcuni importanti aspetti metodologici.

In particolare si citano:

- i dati raccolti in tutti gli studi idrogeologici sono archiviati, secondo uno standard predefinito, nella banca dati idrogeologica provinciale (*geodatabase*);⁴ i dati provenienti dai singoli studi sono quindi elaborabili complessivamente con quelli provenienti da altri studi;
- in tutti i lavori si è dato ampio spazio alle attività di

rilievo in campo e a misure sperimentali su pozzi esistenti; ciò ha portato all’archiviazione dei dati anagrafici di oltre 3000 pozzi e di quasi 10.000 rilievi (misure piezometriche, temperatura e conducibilità elettrica delle acque ecc.), nonché *test* idrogeologici per la parametrizzazione degli acquiferi;

- si è installata strumentazione di monitoraggio della piezometria (e in alcuni casi di altri parametri fisici) su una trentina di punti significativi, che sono ubicati nella cartografia della Tav. 11 alla scala 1:100.000.

In sintesi le conoscenze idrogeologiche sul territorio rappresentano una risorsa che viene costantemente incrementata nel tempo e che funge da base per le attività istituzionali della Provincia (istruttorie di progetti, attività di pianificazione ecc.) via via adattabili alle nuove esigenze (da ultimo si cita il recente sviluppo delle geosonde, a cui è dedicata una specifica parte del presente Atlante⁵).

12.2. GLI ACQUIFERI CONFINATI “PROFONDI”

12.2.1. Inquadramento nello schema idrogeologico a livello regionale

A titolo di inquadramento si riporta la classica schematizzazione idrogeologica della Pianura Veneta, il cui sottosuolo si può suddividere in tre fasce:

1. Alta Pianura (acquifero indifferenziato - area di ricarica);
2. Media Pianura (fascia delle falde artesiane);
3. Bassa Pianura (falde a modesta potenzialità qualitativa e quantitativa).

La provincia di Venezia ricade nella fascia di Media e Bassa Pianura, ma i suoi acquiferi profondi dipendono, per l’alimentazione, da quelli dell’Alta Pianura.

La fascia di **Alta Pianura** si colloca a ridosso dei rilievi montuosi con una larghezza variabile, da monte a valle, di circa una decina di chilometri che tende a restringersi nella pianura del Tagliamento. E’ una zona composta principalmente da materiali sciolti grossolani; il materasso alluvionale risulta infatti formato quasi interamente da depositi sabbiosi, ghiaiosi e ciottolosi molto permeabili per tutto il suo spessore. E’ frequente rinvenire a diverse profondità livelli ghiaiosi più o meno cementati (livelli conglomeratici). In questa zona i diversi conoidi alluvionali e fluvio-glaciali si sono tra loro compenetrati formando un unico ammasso ghiaioso-ciottoloso.

La fascia di **Media Pianura**, di circa una decina di chilometri di larghezza, rappresenta il passaggio tra l’Alta e la Bassa Pianura. In questa zona le ghiaie diminiscono di spessore suddividendosi in livelli separati tra loro da letti di materiale limoso-argilloso impermea-

⁴ Vedi anche il capitolo 5 “Banche dati” e la Tav. 7.

⁵ Vedi il capitolo 13 “Geoscambio” e la Tav. 13.

bile. Questo passaggio è abbastanza rapido e si manifesta con una struttura a digitazione delle ghiaie che si distaccano dall'ammasso alluvionale omogeneo, dapprima con grandi spessori, e si esauriscono verso valle a differenti distanze, chiudendosi entro i depositi fini impermeabili o semipermeabili. Solo i livelli ghiaiosi più profondi tendono a persistere anche più a Sud, nella Bassa Pianura, come testimoniano le informazioni di sondaggi provenienti da pozzi profondi.

A valle della fascia di media pianura si trova la fascia di **Bassa Pianura**, che si spinge fino alla costa adriatica e a sud fino al fiume Po. Ha una larghezza di circa 20 km nella parte orientale e presenta un sottosuolo costituito da potenti letti di limi e argille entro cui si intercalano livelli sabbiosi.

La progressiva differenziazione delle strutture sedimentarie da monte a valle determina conseguentemente caratteri idrogeologici differenti. Si passa infatti da un sistema acquifero monofalda di tipo freatico, a monte, a un sistema multifalde, a valle, in stretta connessione l'uno con l'altro.

Con riferimento alle tre fasce sopraccitate, il territorio provinciale ricade nelle zone definite di Media e di Bassa Pianura. La Media Pianura Veneta si trova in corrispondenza della zona in cui inizia a presentarsi la struttura geologica multifalde, con acquiferi ghiaiosi in pressione situati a profondità differenti. E' in questa fascia che si colloca l'area di "risorsa idropotabile".

A valle della Media Pianura la rapida e progressiva riduzione di materiali grossolani negli orizzonti acquiferi non consente l'esistenza di falde idriche molto ricche, salvo casi piuttosto rari.

La ricarica di tutto questo complesso sistema idrogeologico avviene in corrispondenza dell'Alta Pianura,

dove l'acquifero libero indifferenziato si trova in comunicazione idraulica con la superficie (Fig. 12.1).

I principali fattori di ricarica si possono individuare nelle precipitazioni, nella dispersione dei corsi d'acqua, nell'irrigazione e negli afflussi sotterranei provenienti dagli acquiferi rocciosi fessurati presenti nei rilievi prealpini. L'ordine di importanza di questi fattori varia da zona a zona; in ogni caso la dispersione del sistema irriguo e dei corsi d'acqua (Adige, Astico, Leogra, Brenta, Piave e Tagliamento) si è dimostrata di particolare rilevanza per la ricarica dell'acquifero freatico dell'Alta Pianura, che provvede ad alimentare il sistema multifalde posto a valle, con il quale -come si è detto- è strettamente collegato.

Nella fascia di transizione tra l'Alta e la Media Pianura, uno degli elementi caratteristici è la fascia delle risorgive con i corsi d'acqua, comunemente definiti fiumi di risorgiva, che essa alimenta.

La venuta a giorno della falda freatica si verifica lungo questa fascia di larghezza variabile tra i 2 e i 10 km, individuata da un limite superiore e uno inferiore. L'emergenza della falda avviene nei punti più depressi del suolo dove hanno origine i fontanili, tipiche e ben note sorgenti di pianura.

Il limite superiore delle risorgive corrisponde all'intersezione della superficie freatica con quella topografica, e può variare nel tempo in quanto risente delle oscillazioni della superficie piezometrica della falda: esso infatti si sposta verso monte quando il livello si alza e verso valle quando quest'ultimo decresce.

Il limite delle risorgive è posto generalmente a monte del territorio provinciale. L'unica risorgiva presente nel territorio provinciale ("risorgiva di Frattina") ricade in comune di San Michele al Tagliamento (Fig. 12.2).

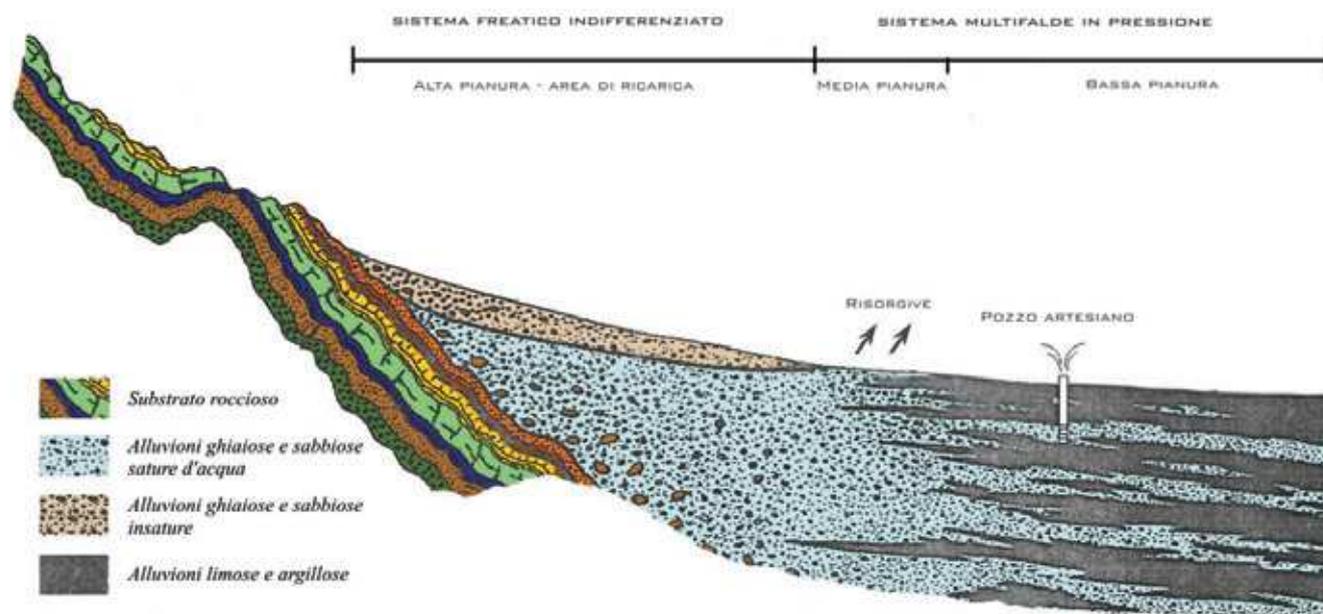


Fig. 12.1 - Modello idrogeologico della Pianura Veneta. La figura rappresenta una sezione-tipo della pianura con direzione N-S. Si distingue la zona di Alta Pianura dove avviene la ricarica dell'acquifero, la zona di Media Pianura dove inizia a svilupparsi il sistema multifalde in pressione e in cui le acque freatiche vengono a giorno (fascia delle risorgive) e infine la zona di Bassa Pianura.



Fig. 12.2 - Immagine di un fontanile (Risorgiva di Frattina - comune di San Michele al Tagliamento. Fonte: BONDESAN A. & LEVORATO C., "I geositi della provincia di Venezia", 2008).

12.2.2. Qualità e quantità delle acque sotterranee: l'area di risorsa idropotabile

12.2.2.1. Delimitazione dell'area di risorsa idropotabile

La georisorsa in rapporto alle condizioni geologiche e idrogeologiche non è uniformemente distribuita nel territorio provinciale, sia per gli aspetti quantitativi che per quelli qualitativi. In termini generali, spostandosi da nord verso sud, diminuisce sia la disponibilità e l'accessibilità delle acque sotterranee sia la loro qualità naturale. Ciò risulta immediatamente evidente osservando la distribuzione dei punti di approvvigionamento acquedottistico e dei pozzi privati: si concentrano nei comuni Scorzé, Noale, Salzano e Martellago e nella parte settentrionale del portogruarese⁶.

Anche la qualità delle acque risulta molto disuniforme; infatti, spostandosi da monte a valle le acque sotterranee presentano, con maggior diffusione, elementi di "origine geologica", quali alluminio, ferro, manganese, arsenico, ammoniaca, che rendono non potabile l'acqua rispetto al suo "fondo naturale".

La disuniforme distribuzione naturale della risorsa ha permesso di definire un *limite dell'area di risorsa idropotabile*: una linea che di fatto distingue le zone nel cui sottosuolo è presente tale risorsa (per l'appunto definita "area di risorsa idropotabile") da quelle dove non è presente. Nella Tav. 11 viene riportata la delimitazione dell'area di risorsa idropotabile alla quale si è giunti analizzando la quantità e la qualità degli acquiferi. Tale delimitazione è stata recepita anche in documenti programmatori della Provincia e di altri enti.

Ovviamente, il limite schematizza un passaggio che nella realtà è graduale e si differenzia tra falda e falda (siamo in una situazione di acquifero multifalda), pur tuttavia permette l'immediata distinzione di aree dove le risorse idriche non solo sono più abbondanti, ma risultano anche limitatamente interessate da alcune impronte naturali, come la citata presenza di un fondo naturale di ferro, manganese ecc. pressoché ubiquitaria più a sud, che rendono le risorse generalmente non idonee al consumo umano.

L'area di risorsa idropotabile è di importanza strategica, poiché l'acqua di alcuni acquiferi viene prelevata per uso acquedottistico ed è utilizzata per l'approvvigionamento idropotabile autonomo. Inoltre, vi insistono importanti prelievi per l'imbottigliamento delle acque minerali e per altri usi privati. In essa si hanno i massimi valori di produttività dei pozzi (in relazione a più elevati valori di trasmissività) e, soprattutto, si hanno acque le cui caratteristiche naturali le rendono idonee all'uso idropotabile (ovvero rispondenti ai requisiti previsti dal D.Lgs. n° 31/2001).

Nelle rimanenti parti del territorio, generalmente, le acque sotterranee non risultano adeguate al consumo umano per la presenza di elevate concentrazioni delle citate sostanze di "origine geologica", quali alluminio, arsenico, ammoniaca, ferro e manganese che sono normalmente superiori anche ai valori tabellari (Concentrazioni Soglia di Contaminazione) della normativa vigente in tema di bonifiche dei siti contaminati. Ovviamente, non si tratta di fenomeni di contaminazione antropica, ma di caratteristiche naturali delle acque.

Una prima rappresentazione del fenomeno è riportato nelle due seguenti cartografie (Figg. 12.3 e 12.4), dove i pozzi a profondità superiori di 30 metri, oggetto di rilievo, sono suddivisi in base alle caratteristiche di potabilità, per i parametri ferro e ammoniaca.

Nella elaborazione non viene fatta alcuna distinzione in base alla profondità di prelievo o alla falda di appartenenza (elemento imprescindibile di un'analisi del fondo naturale). L'elaborazione però permette di distinguere immediatamente le aree di maggior interesse per la potenzialità idropotabile degli acquiferi.

12.2.2.2. Elementi di origine geologica ("fondo naturale") e loro distribuzione nel sottosuolo

La presenza di elevate concentrazioni di metalli nei terreni e nelle acque sotterranee nella Pianura Veneta è nota da tempo ed è ormai un dato accertato da un punto di vista scientifico.

La presenza di tali sostanze, in acquiferi alluvionali, viene normalmente messa in relazione a condizioni riducenti negli acquiferi e, in particolare nel caso dell'ammoniaca, alla presenza di torbe. Tale forma di "contaminazione" è distribuita a "macchia di leopardo"

⁶ Questo aspetto verrà poi trattato con maggior dettaglio nel capitolo 15 "Georisorse" e nella Tav. 14.

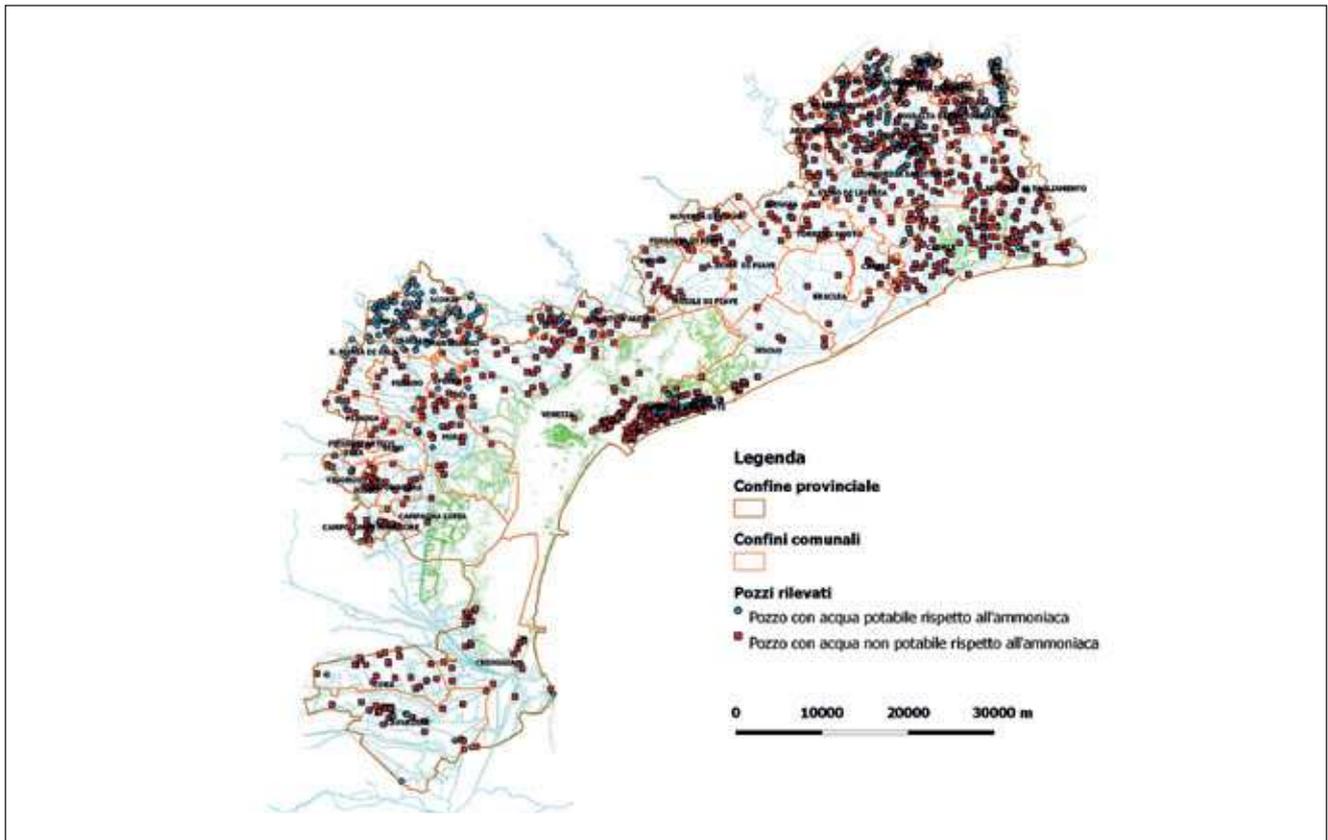


Fig. 12.3 - Distribuzione dei pozzi con concentrazione di ammoniaca al di sopra e al di sotto del limite di potabilità (0,5 mg/l). Dato riferito a tutte le falde confinate.

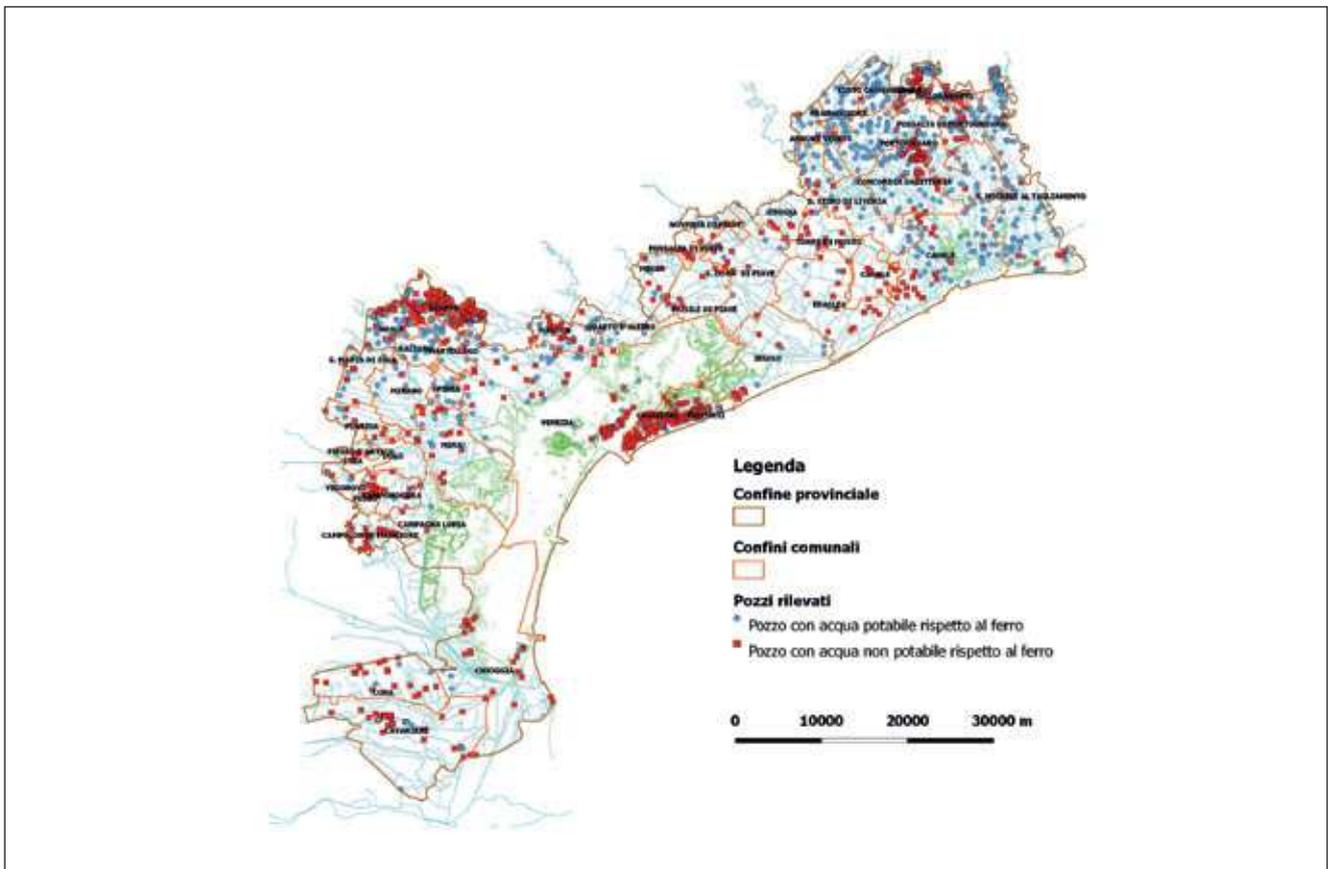


Fig. 12.4 - Distribuzione dei pozzi con concentrazione di Ferro al di sopra e al di sotto del limite di potabilità (0,2 mg/l). Dato riferito a tutte le falde confinate.

secondo meccanismi, di fatto, ancora poco approfonditi.

In generale si può tranquillamente affermare che acquiferi, sia "superficiali" che "profondi", possono essere interessati da elevati valori di alluminio, arsenico, ferro, manganese e ammoniaca di origine geologica.

Il recente "Piano di Tutela delle Acque" della Regione Veneto⁷, nell'*Elaborato K - Analisi delle criticità dei corpi idrici sotterranei*, relativamente all'acquifero differenziato della Media Pianura Veneta afferma:

"I materiali argillosi che confinano gli acquiferi in pressione e li proteggono da eventuali fenomeni di contaminanti provenienti dall'alta pianura sono, per contro, la causa della presenza di alcuni metalli nelle falde artesiane, talora anche profonde, del sistema multifalda della media e bassa pianura veneta. Questo fenomeno è riconducibile ad origini naturali, come risultato della solubilizzazione dei minerali presenti nei livelli argillosi.

Le analisi chimico-mineralogiche eseguite sulla frazione argillosa presente nel sottosuolo hanno consentito di identificare la composizione media dei fillosilicati: illite, clorite, caolinite e montmorillonite. Il confronto con le composizioni chimiche medie di questi minerali argillosi giustifica ampiamente la presenza di ferro, arsenico e manganese nelle acque sotterranee".

Sempre il Piano di Tutela delle Acque nello *Stato di fatto* indica che:

"Per quanto riguarda, invece, la qualità del sistema di falde in pressione la presenza a determinate profondità di alcune sostanze indesiderabili, tra cui manganese, ferro, arsenico e ione ammonio, sembra invece avere origine esclusivamente naturale".

I dati raccolti a scala provinciale in questi anni permettono una prima analisi della distribuzione del citato fondo naturale.

Nella valutazione dei dati va tenuto presente che le misure sono state fatte su pozzi esistenti. Nella perforazione, per ovvi motivi, le falde con qualità peggiori vengono normalmente escluse. I dati che si presentano quindi sicuramente sottostimano i valori di fondo naturale, ma sono comunque di grande interesse perché permettono di distinguere le aree di risorsa di maggior pregio.

Utilizzando i valori delle migliaia di rilievi speditivi in campo effettuati sulle acque sotterranee durante l'indagine idrogeologica, si è effettuata un'analisi statistica della distribuzione di Ferro e Ammoniaca nelle macroaree in cui era stata suddivisa l'indagine stessa (area meridionale - veneziano - riviera del Brenta - miranese - sandonatese - portogruarese, quest'ultima area a sua volta suddivisa in due parti "alto" e "basso" in funzione del limite idropotabile).

Nella Fig. 12.5 si riporta la frequenza e la percentuale cumulativa per le concentrazioni di ammoniaca. Risulta immediatamente evidente la diversa qualità della risorsa nelle diverse aree provinciali. Nella

maggior parte del territorio provinciale, con la sola esclusione del miranese e dell'alto portogruarese, le concentrazioni misurate sono sistematicamente superiori ai valori previsti per le acque potabili (0,5 mg/l). Per alcune aree, come il sandonatese e l'area meridionale, circa la metà dei campioni presenta concentrazioni con valori di dieci volte superiori a quelli previsti per le acque potabili.

Analogo comportamento si ha nella distribuzione del Ferro (Fig. 12.6). Anche in questo caso le acque del miranese e del portogruarese presentano caratteristiche nettamente migliori di quelle del rimanente territorio provinciale, rispettando i valori previsti per le acque potabili (0,2 mg/l). Così pure vi sono molti pozzi (soprattutto nell'area meridionale, nel sandonatese e nel veneziano) dove il fondo naturale è superiore di dieci volte ai limiti previsti per le acque potabili (che peraltro coincidono con le Concentrazioni Soglia di Contaminazione previsti dalla normativa in tema di bonifica dei siti contaminati⁸).

Nel complesso quindi sia il ferro che l'ammoniaca (che altri elementi) raggiungono valori di molte volte superiori a quelli di potabilità; sono particolarmente elevati nell'area meridionale e nel sandonatese, dove la qualità naturale delle acque sotterranee risulta particolarmente scarsa.

Naturalmente il fenomeno si diversifica non solo arealmente, ma anche con le diverse falde che si incontrano nel sistema multifalde.

Un esempio di questa differenziazione viene riportata per il portogruarese con una elaborazione che utilizza i dati dell'indagine idrogeologica cartografati in ZANGHERI *et al.*, 2001 (per la locale suddivisione in falde si veda il § 12.2.5.1.).

L'elaborazione dei dati dell'ammoniaca (Fig. 12.7) evidenzia come la presenza di origine geologica interessa tutti gli acquiferi con concentrazioni superiori anche di dieci volte i limiti di potabilità. Il fenomeno è particolarmente accentuato nelle falde più superficiali.

Per il ferro (Fig. 12.8) si osserva una situazione diversa rispetto all'ammoniaca, con una distribuzione che risulta maggiormente dipendente dalla profondità. Infatti, mentre per le falde presenti nei primi cento metri il fenomeno risulta ubiquitario e con concentrazioni elevate (oltre dieci volte il limite di potabilità), negli acquiferi sottostanti il fenomeno risulta più limitato, fino a divenire assente oltre i 580 m di profondità.

Il fenomeno del fondo naturale di una serie di elementi di origine geologica è quindi oramai un dato ampiamente accertato, anche se ancora scarsamente indagato nei suoi meccanismi e nella sua distribuzione; vi è da notare che nell'ambito di procedure di carat-

⁷ Il Piano è stato approvato con deliberazione del Consiglio Regionale Veneto n° 107 del 5 novembre 2009.

⁸ Secondo la norma, nel caso di presenza di "fondo naturale", le Concentrazioni Soglia di Contaminazione si assumono pari al valore di fondo (art. 240 del D.Lgs. n° 152/2006).

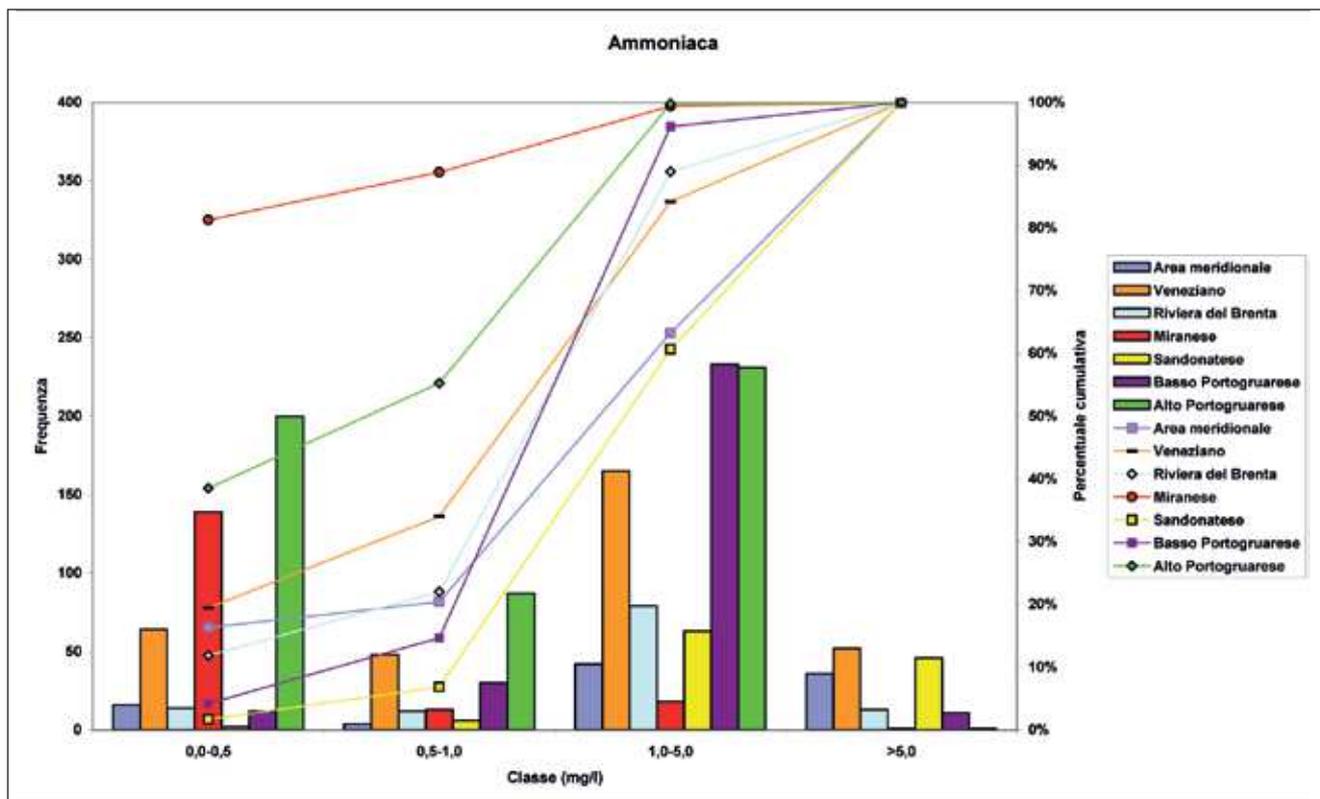


Fig. 12.5 - Distribuzione dell'Ammoniaca per diverse aree del territorio provinciale.

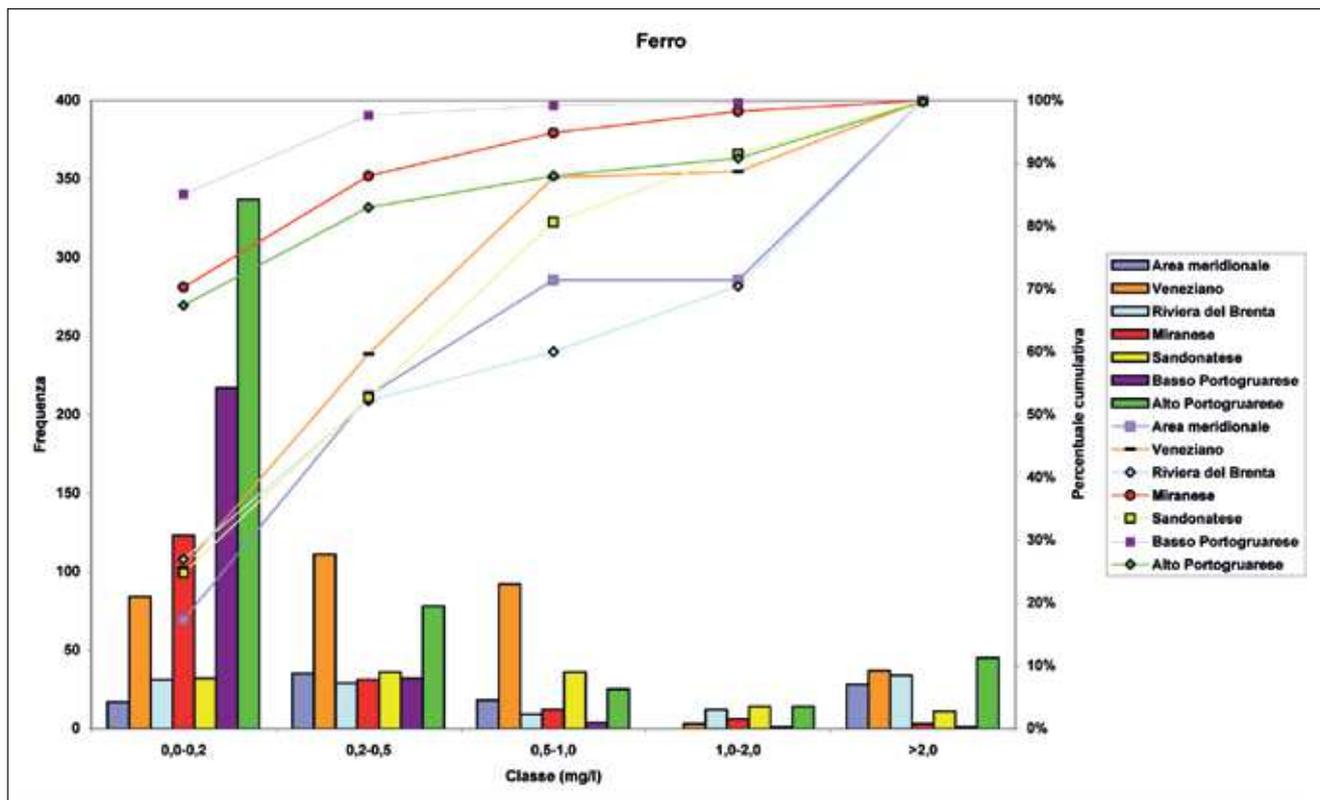


Fig. 12.6 - Distribuzione del Ferro per diverse aree del territorio provinciale.

terizzazione e bonifica di siti contaminati si rilevano ancora casi in cui il fondo naturale viene inspiegabilmente confuso, anche da enti pubblici, con fenomeni di contaminazione antropica.

12.2.3. Parametri idrogeologici

La definizione della distribuzione nelle tre dimensioni dei parametri idrogeologici ha particolare rilevanza nella ricostruzione del quadro idrogeologico comples-

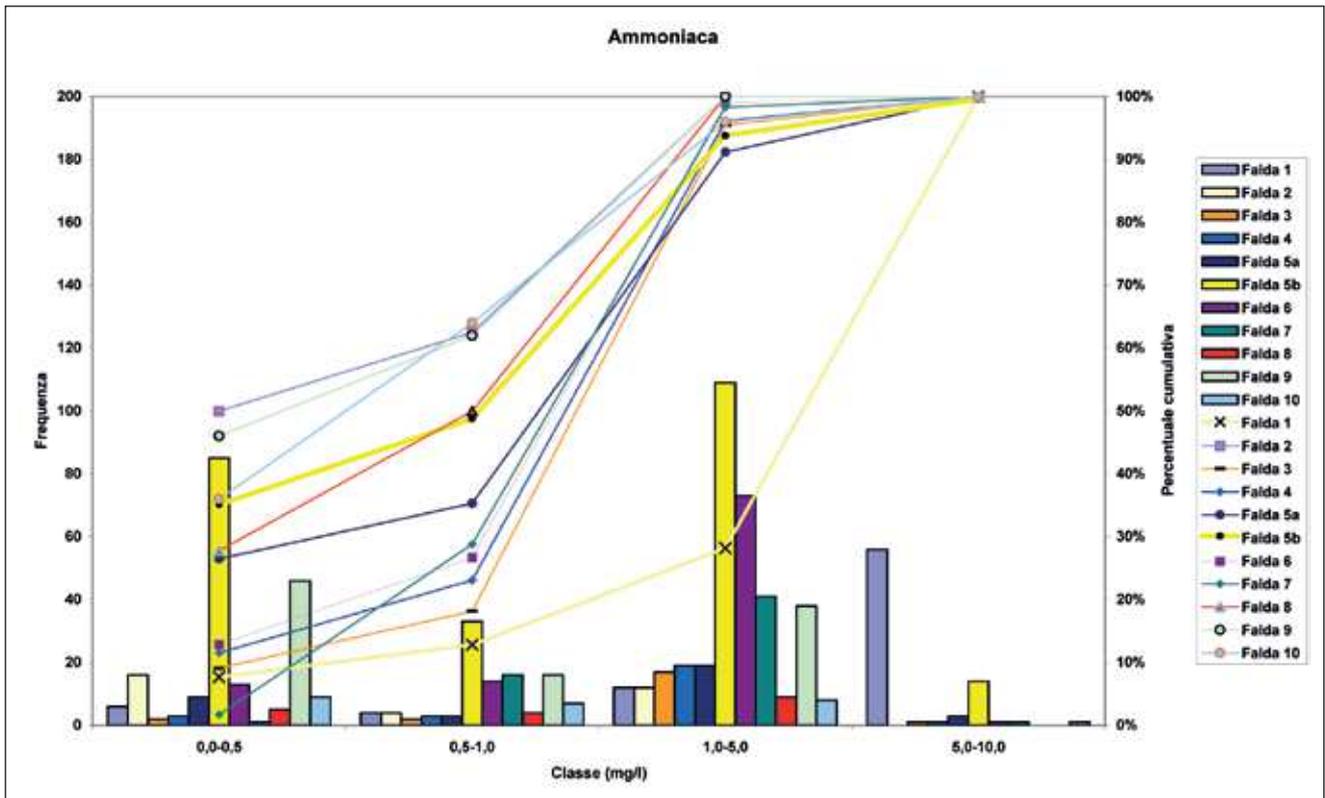


Fig. 12.7 - Distribuzione dell'Ammoniaca negli undici acquiferi individuati nel portogruarese.

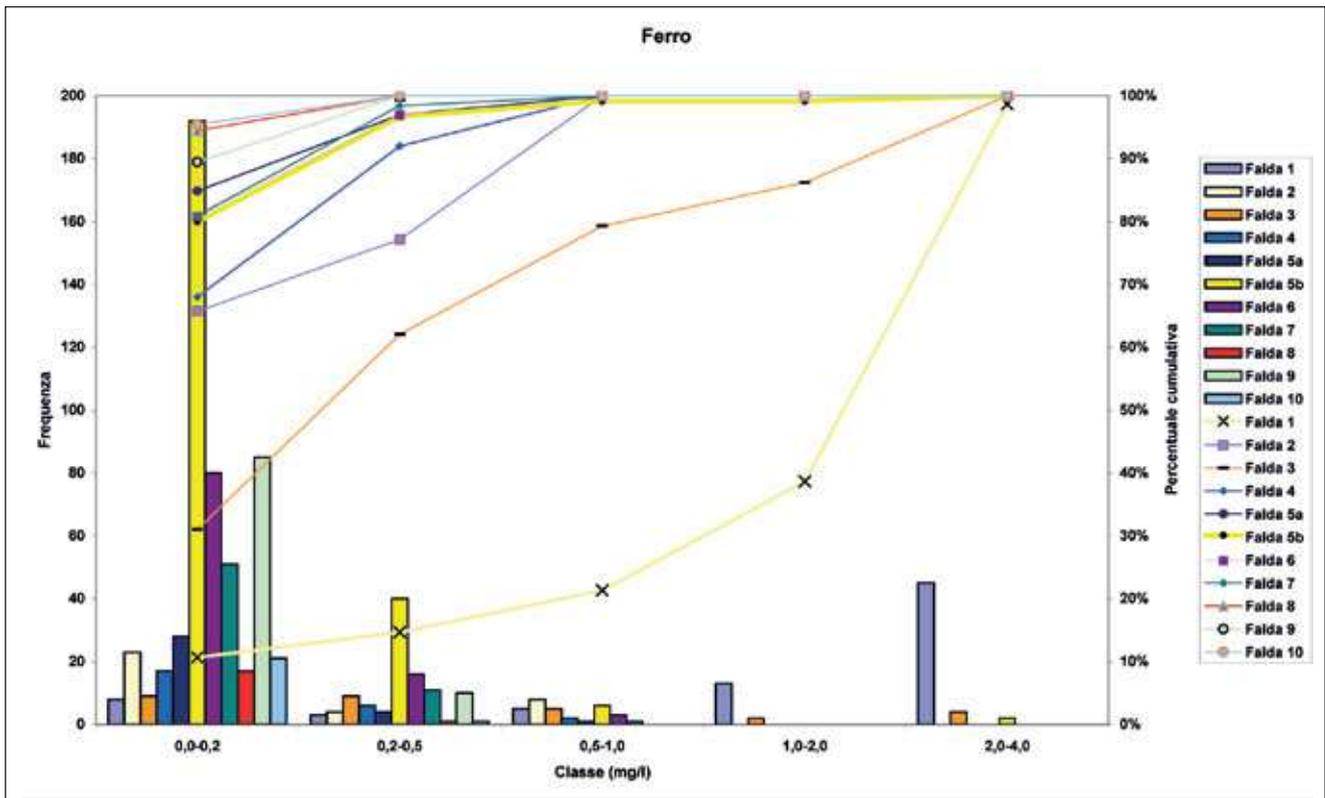


Fig.12.8 - Distribuzione del Ferro negli undici acquiferi individuati nel portogruarese.

sivo. Infatti la conoscenza dei parametri idrogeologici è necessaria per definire le modalità di deflusso delle acque sotterranee e, più in generale, per analizzarne il comportamento idrodinamico.

Di contro la determinazione di questi parametri comporta la disponibilità di punti di misura, appositamente attrezzabili, e la necessità di misure in campo piuttosto complesse.

L'attuale disponibilità di valori dei parametri idrogeologici si concentra nelle aree che per il loro specifico interesse sono state oggetto di maggiore approfondimento (l'area di risorsa idropotabile, l'area termale del basso portogruarese, gli acquiferi superficiali di Porto Marghera). Misure sperimentali sono tuttora in corso soprattutto sugli acquiferi superficiali nell'ambito del progetto "IDRO"⁹.

La Tav. 11 riporta la distribuzione delle misure di trasmissività ottenute da prove idrogeologiche in configurazione "pozzo-piezometro".

Un'analisi dei dati è possibile solo in riferimento ai singoli acquiferi. Per questo motivo una sintesi dei dati disponibili è stata riportata nelle analisi svolte per ciascuna area (§ 12.2.5).

In generale si hanno valori di permeabilità che raggiungono massimi di 10^{-3} m/s in acquiferi ghiaiosi nell'area di risorsa idropotabile.

12.2.4. Risorse idriche sotterranee: sintesi delle conoscenze per singole aree

In questa parte si riporta una breve sintesi delle conoscenze idrogeologiche sulle diverse parti del territorio provinciale, considerando la seguente suddivisione:¹⁰

- portogruarese;
- sandonatese;
- area centrale (veneziano, miranese, riviera del Brenta);
- area meridionale (cavarzerano - chioggio).

12.2.4.1. Le acque sotterranee del portogruarese

La serie idrogeologica dei primi 600 metri di sottosuolo è schematizzabile in 11 acquiferi, come illustrato dai due profili idrogeologici riportati in Tav. 11.

Non tutte le falde sono continue sull'intero territorio indagato, ma alcune tendono a chiudersi spostandosi da nord verso sud. Si tratta in particolare delle tre falde più superficiali.

L'intera serie è caratterizzata da acque dolci. Le stesse acque termali contenute nei livelli plioquaternari hanno conducibilità elettrica normalmente inferiore ai 1000 μ S/cm. Dati AGIP collocano l'interfaccia acqua dolce-acqua salata a una profondità di 775 m nei pressi di S. Stino di Livenza e di 605 m a Cesarolo (San Michele al Tagliamento).

Le principali caratteristiche degli acquiferi sono riassunte dal seguente schema (Tab. 12.1). I valori riportati sono da intendersi come valori tipici e corri-

Falda	Prof. (m)	Temp. (°C)	Cond. elettrica (μ S/cm)	Fe (mg/l)	NH ⁴⁺ (mg/l)	Preval. su p.c. (m)	Q spont. max (l/s)	Litologia prevalente
1	10 - 20	14 - 16	990 - 3500	0,3 - 3,2	0,8 - >3	no	no	Sabbie e ghiaie
2	35 - 55	14 - 15	460 - 470	0,1 - 0,3	0,9 - 1,8	no	no	Sabbie
3	60 - 90	14 - 15	510 - 1700	0,1 - 3,2	3,0 - >3	0 - 0,3	0 - 0,2	Sabbie
4	100 - 130	15 - 20	400 - 810	0,1 - 0,5	1,4 - >3	0 - 0,6	0 - 0,2	Sabbie
5a	150 - 180	14 - 19	375 - 980	0,1 - 0,4	0,8 - >3	0 - 1,0	0 - 0,2	Ghiaie e sabbie
5b	190 - 240	15 - 23	360 - 700	0,1 - 0,4	0,8 - >3	0 - 1,7	0 - 0,3	Ghiaie e sabbie
6	250 - 315	16 - 24	400 - 600	0,0 - 0,3	1,5 - >3	0 - 1,4	0 - 0,5	Ghiaie e sabbie
7	320 - 380	16 - 25	400 - 590	0,0 - 0,2	0,8 - >3	0 - 3,9	0,1 - 0,8	Sabbie
8	400 - 460	18 - 31	370 - 630	0,0 - 0,2	0,4 - >3	0 - 6,5	0 - 2,6	Sabbie
9	480 - 560	25 - 45	340 - 540	0,0 - 0,2	0,1 - 2,0	4 - >20	0,3 - 3,8	Sabbie e ghiaie
10	> 580	24 - 48	330 - 2400	0,0 - 0,1	0,1 - 1,9	4 - >20	0,2 - 4,1	Sabbie e ghiaie

Tab. 12.1 - Schema riassuntivo dei principali parametri chimico-fisici degli acquiferi.

spondono ai valori risultanti al decimo e al novantesimo percentile. Data l'estensione dell'area, possono variare in un *range* piuttosto ampio.

E' possibile raggruppare le falde dotate di parametri chimico - fisici e idrogeologici con valori simili fra loro. È stato così possibile individuare sei unità principali che si posizionano, rispetto al piano campagna, alle seguenti profondità medie: 10 - 20 m; 35 - 55 m; 60 - 130 m; 150 - 380 m; 400 - 460 m; >480 m.

La notevole prevalenza sul piano campagna della piezometrica che, nelle falde più profonde in alcuni casi supera i 20 m, ha favorito un ampio uso di questa risorsa. Infatti, pozzi con diametro di 2-3", e quindi realizzabili con tecnologie estremamente veloci ed economiche, sono in grado di fornire portate di 3-4 l/s.

La facilità di estrazione dell'acqua, legata all'artesianesimo delle falde, ha però favorito un diffuso uso non corretto della risorsa idrica (anche termale). Infatti si ha una frequente presenza di pozzi "a getto continuo".

Gli acquiferi hanno valori di permeabilità massima attorno ai 10^{-3} m/s; alcune prove hanno determinato permeabilità limitate a 10^{-6} m/s; considerando che le ghiaie pulite possiedono in genere valori di permea-

⁹ In proposito si rinvia alla successiva apposita scheda.

¹⁰ La suddivisione qui utilizzata ricalca sostanzialmente, con accorpamenti per l'area centrale, quella dei Distretti di Protezione Civile di cui al capitolo 10 (Sismicità).

bilità superiori a 10^{-2} m/s e che le sabbie fini hanno valori medi di circa 10^{-5} m/s, risulta che le litologie degli acquiferi oggetto di prova sono caratterizzate in prevalenza da sabbie medie e fini o, nel caso di materiali più grossolani (sabbie grosse e ghiaie), da compresenza di materiali a granulometria più fine.

Non si evidenziano nette diversità tra le varie falde nei parametri idrogeologici; questi tendono a modificarsi più spostandosi da monte a valle all'interno della stessa falda che tra una falda e l'altra, anche se va precisato che il numero delle determinazioni disponibili è ancora piuttosto limitato.

La seguente tabella (Tab. 12.2) riporta i valori tipici di ciascuna falda. Per alcune falde non è al momento disponibile un numero sufficiente di determinazioni.

La figura 12.9 riporta i valori, ricavati sperimentalmente dalle prove, relativamente alle determinazioni di trasmissività e di permeabilità, ivi comprese quelle sulle falde 8, 9 e 10 che in parte del portogruarese sono termali.

Per quanto riguarda la produttività, le falde più profonde (8, 9 e 10) sono in grado di fornire portate spontanee nettamente superiori alle falde sovrastanti. Ciò

Falda	k (m/s)	T (m ² /s)
2	1.20E-04	5.10E-03
4	3.00E-06	3.60E-05
5	4.20E-05	2.50E-04
6	1.20E-04	8.30E-04
7	4.80E-05	7.10E-04
9	7.43E-05	1.30E-03
10	4.00E-04	3.70E-03

Tab. 12.2 - Valori tipici di trasmissività e permeabilità per falda.

grazie a una prevalenza rispetto al piano campagna, spesso superiore a 10 m. I pozzi presenti sono stati oggetto di due specifici rilevamenti idrogeologici, uno svolto nel 1997¹¹ e uno nel 2004. Si è verificata una tendenza a una diminuzione dei livelli piezometrici che si concentra su alcune aree e su alcune falde. I censimenti hanno anche permesso la progettazione di una rete di monitoraggio dei livelli piezometrici.

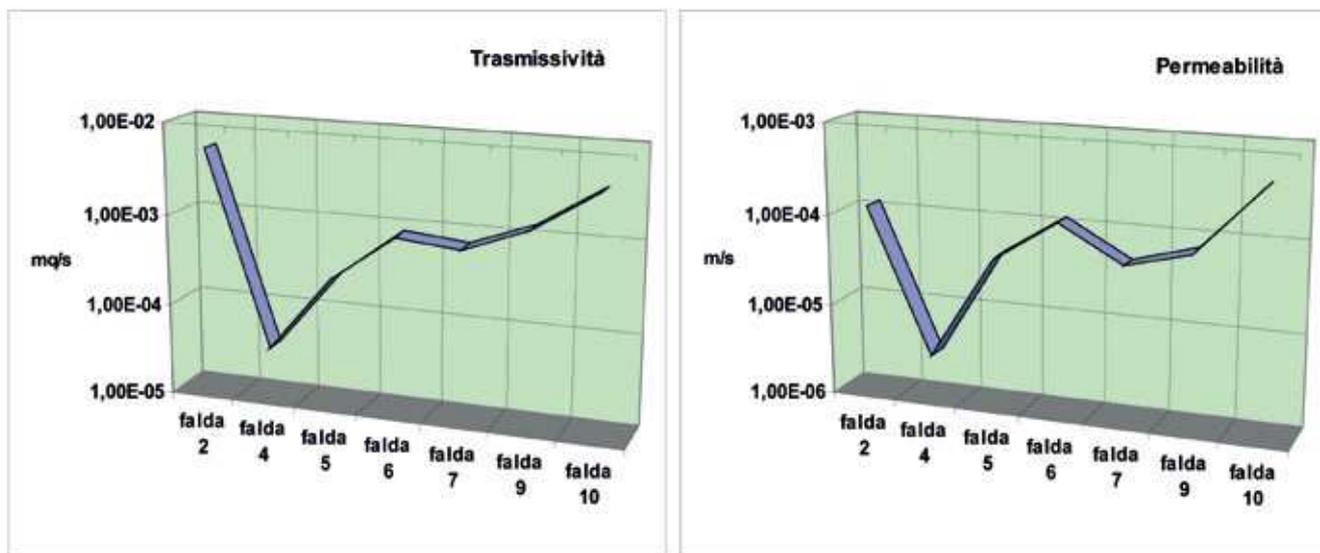


Fig. 12.9 - Valore medio di permeabilità e trasmissività per falda (falde termali e falde sovrastanti).

12.2.4.2. Le acque sotterranee del sandonatese

La ricostruzione del sottosuolo di questa parte del territorio si basa su oltre trenta stratigrafie con profondità superiore a 30 metri, ricavate prevalentemente durante la terebrazione di pozzi idrici; esse, seppur di scarso dettaglio, sono distribuite abbastanza omogeneamente ma con buona densità solo nella parte occidentale e meridionale dell'area, lasciando le parti orientale e settentrionale abbastanza scoperte e quindi con pochi dati a disposizione.

Il sottosuolo risulta essere costituito da un'alternanza di litotipi prevalentemente argilloso-limosi, a bassa o bassissima permeabilità, e di litotipi sabbiosi e sabbioso-limosi, aventi estensione laterale e verticale alquanto discontinua e variabile, a permeabilità media

o bassa con una prevalenza in percentuale dei termini più coesivi rispetto a quelli granulari. Intercalati a questi litotipi si rilevano molto spesso, e in tutto il territorio, degli orizzonti torbosi, più o meno mineralizzati, principalmente nei terreni più superficiali. Questi terreni hanno uno spessore complessivo superiore ai 600 metri.

La situazione idrogeologica locale è quindi condizionata dai forti spessori di materiali argilloso-limosi che riducono drasticamente la permeabilità verticale (*acquicludi*); in essi si intercalano letti prevalentemente sabbioso-limosi e livelli sabbiosi sovrapposti, sedi di

¹¹ Con ripetizione di alcune misure fino al 2001.

falde idriche in pressione, aventi comunque una potenzialità molto bassa.

Nel complesso quindi abbiamo risorse idriche in quantità nettamente inferiore rispetto all'area del portogruarese precedentemente descritta. Ciò è legato principalmente ai diversi caratteri geologico-stratigrafici, a loro volta legati a un differente assetto strutturale (un importante lineamento tettonico separa l'area del portogruarese da quella del sandonatese, in coincidenza indicativamente con il Livenza).

La maggior parte dei pozzi (Fig. 12.10) oggetto di rilevamento (43%) attinge dalle falde comprese tra i 109 e i 206 metri di profondità. Queste falde sono prevalentemente artesiane nella parte orientale del territorio, mentre a ovest sono risalenti. Complessivamente sono caratterizzate da una rapida depressurizzazione e da basse portate spontanee, spesso inferiori a 1 l/s. La qualità delle acque estratte, come notato, è complessivamente scadente o pessima relativamente alle concentrazioni di ammoniaca e ferro. Per quanto riguarda l'ammoniaca, le concentrazioni risultano quasi totalmente (98%) superiori (e spesso notevolmente) ai limiti di potabilità, mentre la concentrazione in ferro rientra nei limiti di potabilità solo in 26 pozzi (21%). Si registrano inoltre elevate concentrazioni naturali di arsenico e manganese (ZANGHERI & AURIGHI, 2001).

A causa della scadente qualità delle acque, i pozzi non sono utilizzati per scopi potabili; tutto il sandonatese è servito da rete acquedottistica, i cui punti di prelievo sono ubicati esternamente al territorio provinciale¹².

Gli acquiferi, specialmente nei comuni di Jesolo, Eraclea e Caorle, sono costituiti da livelli sabbiosi a limi-

tata estensione laterale aventi conducibilità idraulica modesta; essi sono sedi di falde a ricarica lenta. Nella parte settentrionale del territorio vi sono falde relativamente più produttive, specialmente oltre i 300 metri di profondità, che permettono l'estrazione di acque meno scadenti qualitativamente, ma sempre condizionate dall'eccesso di ammoniaca e dalla presenza di gas (metano).

La maggior parte delle acque estratte è per uso domestico (33%), industriale (18%) e irriguo (16%); vi sono comunque molti pozzi non utilizzati e abbandonati (23%). Va notata la presenza di alcuni pozzi profondi 500-600 metri che forniscono acqua a temperature di oltre 25°C.

12.2.4.3. Le acque sotterranee dell'area centrale

La situazione idrogeologica dell'area centrale della provincia è anch'essa caratterizzata da una serie di acquiferi confinati e sovrapposti, in pressione, per cui, nel sottosuolo, si alternano per alcune centinaia di metri livelli di sedimenti fini (argille e limi, impermeabili o poco permeabili) e di sedimenti grossolani (sabbie e ghiaie, permeabili). Quest'ultimi contengono abbondanti acque sotterranee in pressione che hanno la loro alimentazione in territori posti a monte, al di fuori della provincia di Venezia.

Le falde acquifere sono alloggiare in livelli ghiaiosi nelle parti più a monte, dove si hanno le risorse idriche più abbondanti e di interesse idropotabile (Fig.

¹² Questo aspetto sarà poi trattato nel capitolo 15 "Georisorse" e raffigurato nella Tav. 14.

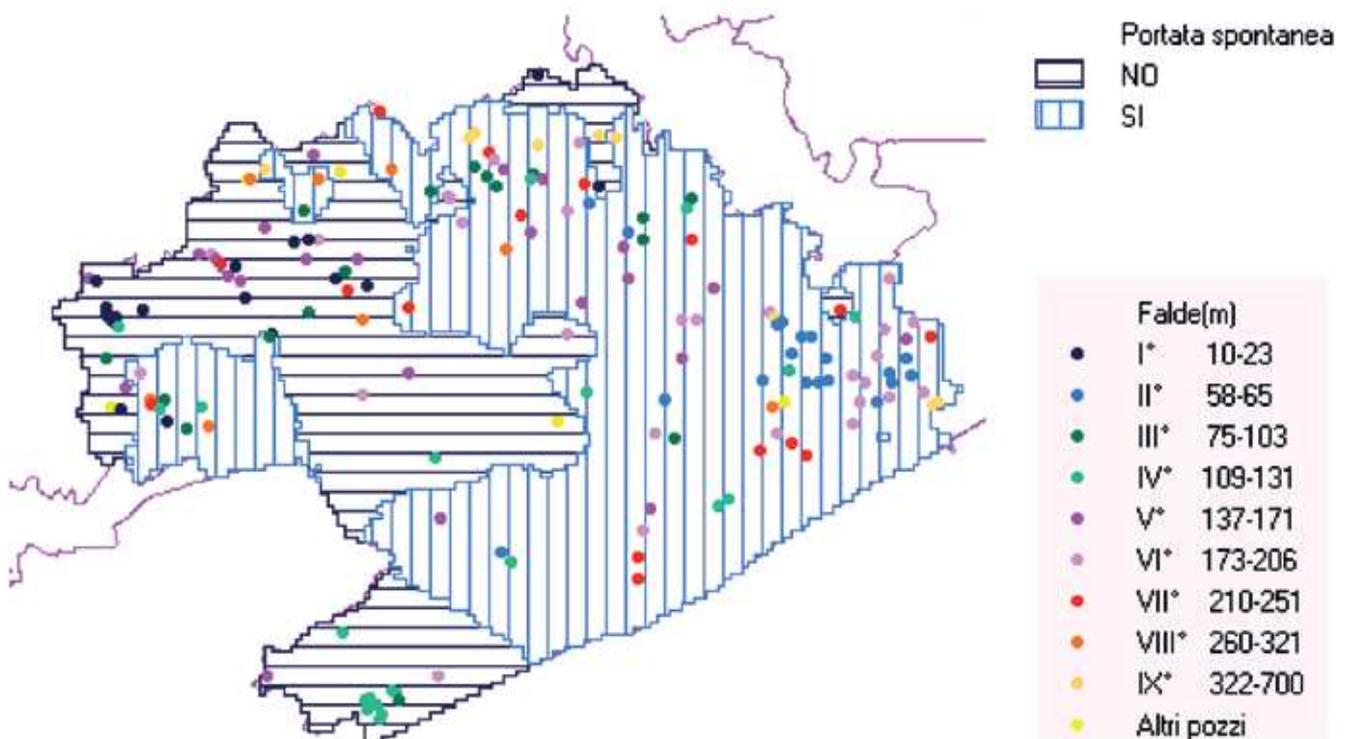


Fig. 12.10 - Distribuzione areale dei pozzi con portata spontanea e pozzi censiti suddivisi per profondità.

12.11), mentre nel rimanente territorio sono contenute in terreni sabbiosi.

I dati caratterizzanti le condizioni idrauliche dei differenti acquiferi indicano che le falde a maggiore disponibilità d'acqua risultano essere quelle localizzate a profondità di 260-300 m, che mostrano prevalenze sul piano campagna anche di alcuni metri.

Il riconoscimento e la suddivisione dei vari livelli acquiferi è stato possibile con maggiore dettaglio nell'area di risorsa idropotabile, grazie all'analisi delle stratigrafie di pozzo, alla distribuzione dei filtri e anche grazie al confronto tra i valori di temperatura e conducibilità delle acque.

Nell'area di risorsa idropotabile della parte centrale della provincia sono stati così riconosciuti dieci livelli acquiferi sovrapposti, da 15 a oltre 310 m di profondità dal piano campagna (si veda il profilo riportato nella cartografia della Tav. 11). Di questi, tre acquiferi in particolare (identificati come "primo", "quarto" e "nono", localizzati rispettivamente a profondità medie di 15-60, 130-140 e 270-310 m) risultano strategici;

da essi infatti, proviene il 96% delle acque distribuite dagli acquedotti dell'AATO Laguna di Venezia e vanno quindi prioritariamente tutelati. Gli acquiferi sono tutti artesiani, a eccezione del primo, artesiano solo localmente.

Per ogni acquifero, nell'area di risorsa idropotabile è stata definita la profondità media del tetto e del letto, e quindi un *range* medio di spessore (Tab. 12.3).

Le linee isopotenziali mostrano mediamente per tutte le falde una direzione generale di flusso NO-SE; tuttavia ogni falda possiede un proprio livello potenziometrico diverso dalle altre. Una volta ricostruite le carte a isopotenziali è stato quindi possibile definire un gradiente idraulico nelle varie zone di interesse, che varia tra 0,06% e 0,21% (CAMBRUZZI *et al.*, 2010a), e che rappresenta uno dei parametri fondamentali per il calcolo dei flussi sotterranei.

La tabella 12.4 riporta, con i rispettivi *range*, i valori di trasmissività e gradiente misurati nei diversi acquiferi, sempre in riferimento all'area di risorsa idropotabile.

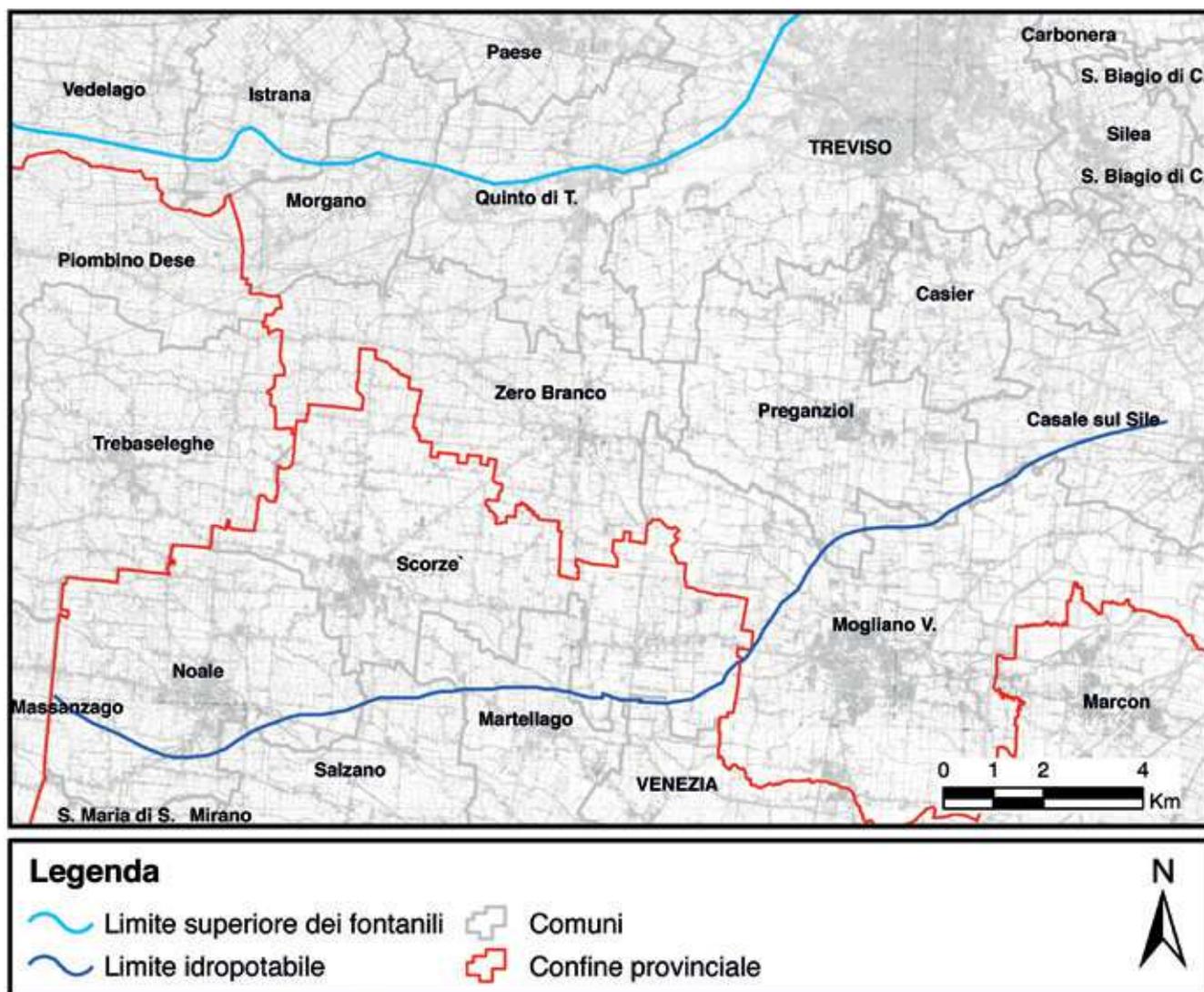


Fig. 12.11 - Dettaglio dell'area di risorsa idropotabile per l'area centrale e per l'area posta a monte, in provincia di Treviso.

Acquifero	Profondità da p.c. (m)
I	15-60
II	65-90
III	100-120
IV	130-140
V	145-160
VI	180-200
VII	210-220
VIII	230-260
IX	270-310
X	>310

Tab. 12.3 - Range di profondità dal piano campagna dei vari acquiferi, nell'area di risorsa idropotabile della parte centrale della provincia.

A titolo di esempio, in Fig. 12.12 si riportano le isopotenziali di uno degli acquiferi di maggior interesse a fini acquedottistici e di imbottigliamento: il nono. Considerando nel suo insieme l'area centrale della provincia, la successione idrogeologica non è sempre definita con sufficiente dettaglio. Oltre che nell'area di risorsa idropotabile, la struttura del sottosuolo è ben conosciuta solo nell'area circumlagunare, grazie agli studi svolti negli anni '70 in relazione alla subsidenza di Venezia (MOZZI G. *et al.*, 1975; DAZZI *et al.*, 1994). I pozzi nell'area centrale¹³ sono distribuiti non uniformemente sul territorio, con una maggiore concentrazione nel settore settentrionale (comuni di Scorzé, Noale, Salzano e Martellago) e, al di fuori dell'area di risorsa idropotabile, nel litorale del Cavallino.

Il territorio è quasi interamente servito dalla rete acquedottistica pubblica. La profondità dei pozzi sfruttati per l'approvvigionamento idrico autonomo supera i 300 m; il 43,3% è caratterizzato da erogazione spontanea.

La zona in cui sono presenti acque potabili è situata nella fascia settentrionale dell'area, relativamente in particolare alle falde intercettate dall'acquedotto che risulta di ottima qualità. L'acqua è invece quasi sempre non potabile nella parte più a valle per l'alto contenuto di ammoniaca.

12.2.4.4. Le acque sotterranee dell'area meridionale

Nel complesso le acque sotterranee di quest'area si presentano qualitativamente e quantitativamente di limitato interesse. Le falde acquifere rilevate sono alloggiare in livelli sabbiosi. Fatto rilevante è la generale non potabilità delle falde, dovuta a cause naturali, per eccesso di ferro e ammoniaca e altri elementi.

Abbondante risulta anche la frazione gassosa (generalmente connessa con la presenza di metano) rinvenibile nelle acque a varia profondità.

Le misure della concentrazione del ferro (Fig. 12.13) mostrano che i valori tendono a diminuire (retta di regressione lineare a pendenza negativa) con la pro-

Acquifero	T (m ² /s)	i %
I	6,0E-02 ÷ 2,6E-01	0,06% ÷ 0,14%
II	5,6E-02 ÷ 6,4E-02	0,10%
III	5,8E-03 ÷ 4,6E-02	0,06% ÷ 0,14%
IV	3,1E-02 ÷ 9,6E-02	0,10% ÷ 0,12%
V	1,7E-02 ÷ 3,3E-02	0,10% ÷ 0,14%
VI	7,9E-03 ÷ 2,2E-01	0,06% ÷ 0,14%
VII	8,6E-03 ÷ 8,8E-02	0,06% ÷ 0,15%
VIII	1,3E-02 ÷ 5,6E-02	0,08% ÷ 0,16%
IX	1,2E-02 ÷ 1,6E-01	0,06% ÷ 0,21%

Tab. 12.4 - Range di trasmissività e gradiente misurati nei diversi acquiferi.

fondità, assumendo anche un minor grado di dispersione.

Per le concentrazioni di ammoniaca, invece, le rette di regressione lineare e logaritmica evidenziano, con l'aumento della profondità, un aumento generale della quantità di ammoniaca, peraltro caratterizzata da un'accentuata dispersione nei suoi valori (Fig. 12.14).

Il forte contenuto di ammoniaca nelle acque campionate è da mettere in relazione a una generale diffusione di sedimenti ricchi di torba, la cui frazione aumenta probabilmente negli strati più profondi.

Per quel che riguarda le misure della conducibilità elettrica dell'acqua, si possono osservare valori medi, nell'intera area di studio (Fig. 12.15), che generalmente oscillano attorno ai 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

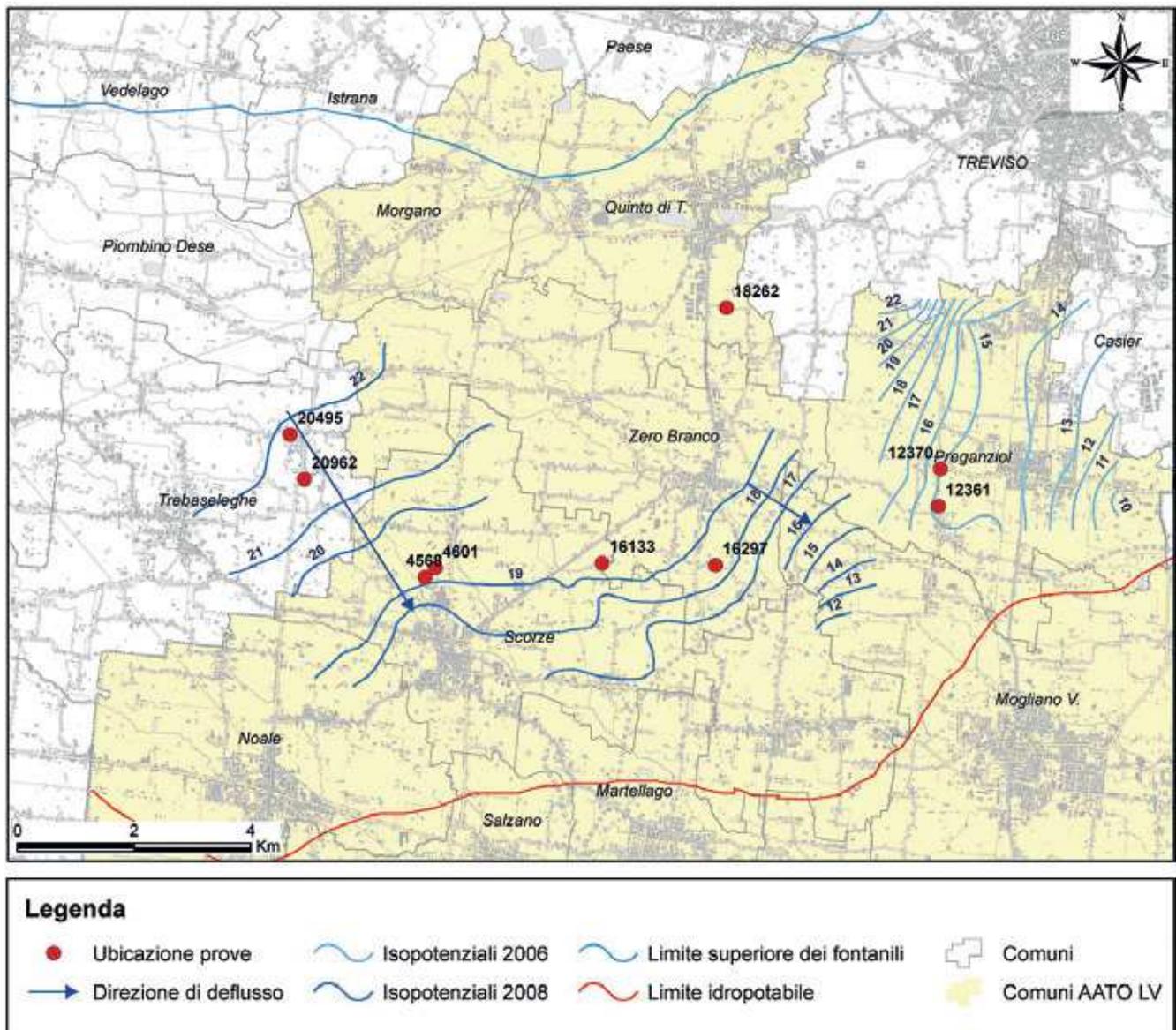
Nell'intervallo di profondità 170-200 m si osserva che, procedendo dall'entroterra verso la costa, la conducibilità aumenta al punto che la fascia più orientale è caratterizzata dalla totale assenza di pozzi.

Tale assenza è in relazione con un importante fenomeno d'intrusione salina il cui studio dettagliato è oggetto di un'altra parte del presente lavoro (capitolo 17 "Intrusione salina"), cui si rimanda.

Nel territorio dell'area meridionale, l'uso attuale delle acque sotterranee dalle falde in pressione è piuttosto ridotto, assai meno rilevante di quello operato in altre aree della provincia (miranese e alto portogruarese). Esiste comunque approvvigionamento autonomo di acqua di falda anche a sensibile profondità (200-300 metri).

L'acqua emunta viene utilizzata prevalentemente a uso irriguo e domestico. Va notato che i pozzi a uso domestico prelevano una quantità d'acqua molto limitata. Non esistono pozzi privati a uso potabile.

¹³ Per maggiori dettagli in proposito si veda il capitolo 15 "Georisorse" e la Tav. 14.



Pozzo n°	Tipo di prova	T (m ² /s)	S	Tipo di prova	T (m ² /s)	S
12361	Prova di pozzo	7,5E-03				
12370	Prova di pozzo	4,0E-02				
16133	Prova di pozzo	4,6E-03		Prova di falda	2,5E-02	1,5E-02
16297	Prova di pozzo	1,9E-02				
18262	Prova di pozzo	2,4E-01				
20495	Prova di pozzo	4,4E-02				
20962	Prova di pozzo	2,7E-01				
21181	Prova di pozzo	2,0E-02				
4568	Prova di falda	1,7E-01	1,3E-04			
4601	Prova di falda	2,3E-01	1,2E-04	Prova di falda	2,9E-01	1,4E-04

Fig. 12.12 - Carta di sintesi del nono acquifero con isopotenziali, punti di prova e parametri idrogeologici (da CAMBRUZZI *et al.*, 2010). Sono presenti anche dati sull'area a monte ricadente in provincia di Treviso.

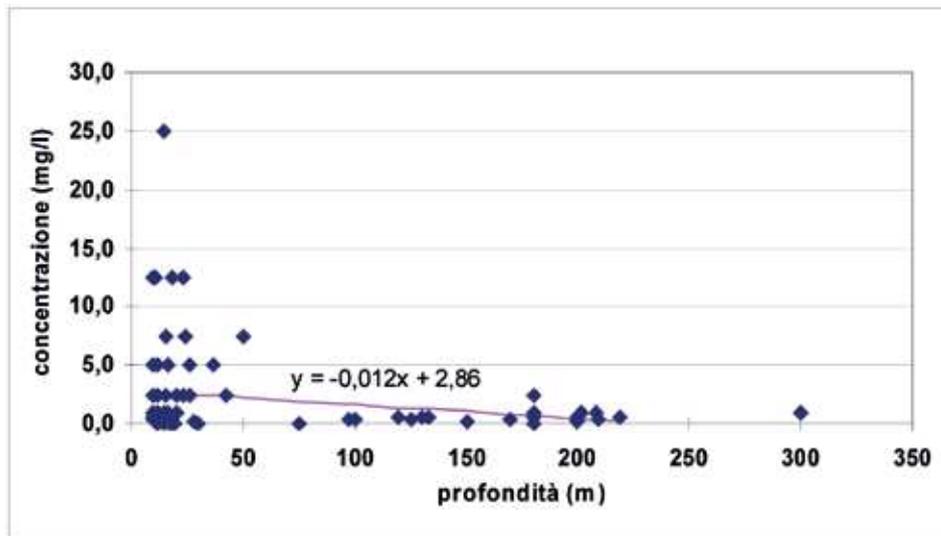


Fig. 12.13 - Concentrazioni di ferro e relative linee di tendenza (regressione lineare) in relazione alla profondità.

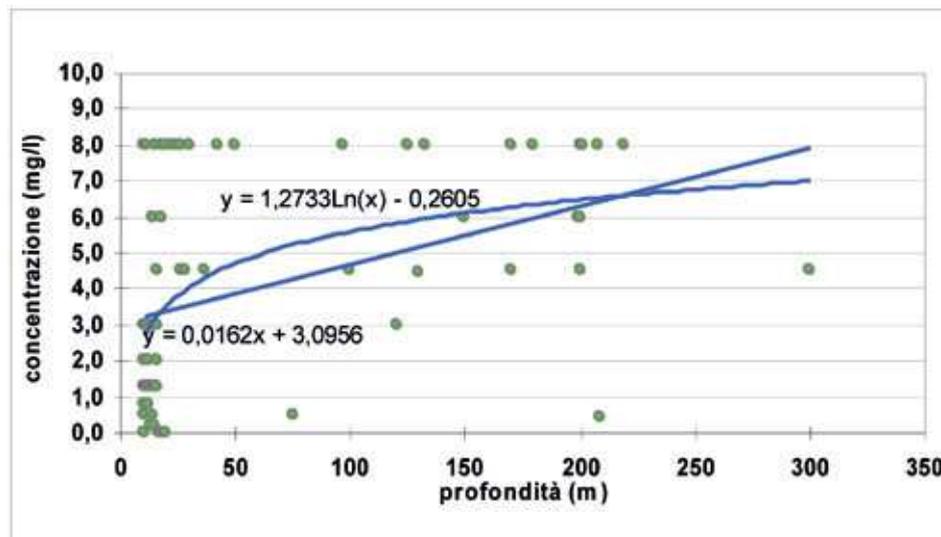


Fig. 12.14 - Concentrazioni di ammoniaca e relative linee di tendenza (regressione lineare e logaritmica) in relazione alla profondità.

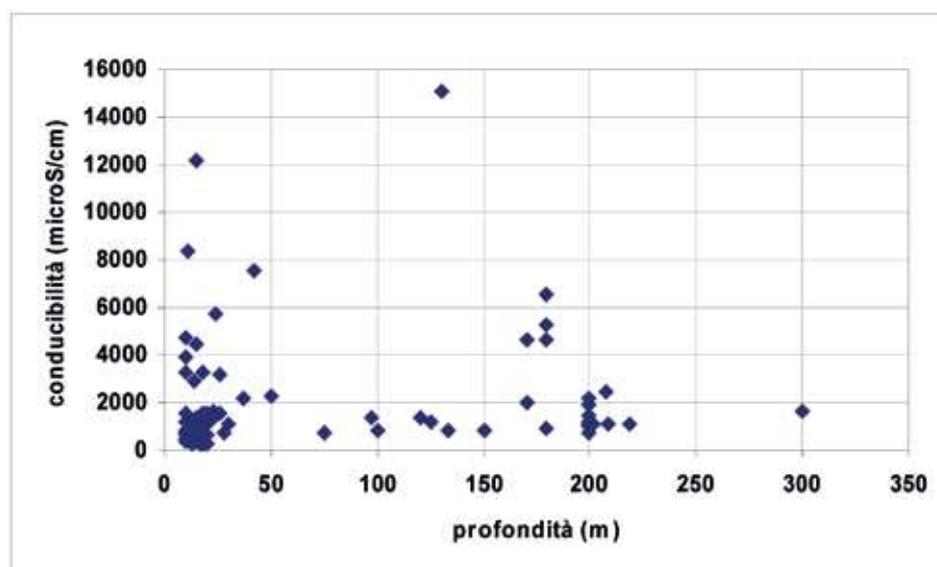


Fig. 12.15 - Variazione della conducibilità elettrica dell'acqua in funzione della profondità.

Esistono in comune di Cavarzere, nella gola dell'Adige in località Martinelle, alcuni pozzi di piccolo diametro (assimilabili alle punte di un *well point*), profondi 15-20 m, a uso acquedottistico; essi prelevano l'acqua di subalveo dell'Adige stesso. Nel rimanente territorio non si hanno altri pozzi a uso acquedottistico.

Questa parte del territorio provinciale è risultato nel suo insieme molto povero di risorse idriche sotterranee. Infatti le falde sono contenute in livelli sabbiosi a permeabilità modesta. I pozzi possono fornire portate di qualche litro al secondo nei casi più favorevoli. Inoltre le acque fornite mostrano parametri qualitativi quasi sempre non idonei all'uso potabile. L'intero territorio è comunque servito da rete idrica pubblica per uso potabile.

12.2.5. Le risorse termali del portogruarese

12.2.5.1. Struttura geologica e origine del termalismo

L'esistenza di un'ampia anomalia geotermica nel portogruarese è largamente testimoniata dalle precedenti indagini eseguite sui pozzi per acqua captanti acquiferi presenti a profondità comprese tra 150 e 700 m. Le falde termali attualmente sfruttate sono distribuite in orizzonti prevalentemente sabbiosi e ghiaiosi tra loro sovrapposti nella copertura sedimentaria prevalentemente quaternaria.

L'anomalia geotermica si estende su una vasta area della bassa pianura del Tagliamento andando a interessare in parte il Veneto e in parte il Friuli Venezia Giulia.

Si riporta nella Fig. 12.16 l'individuazione dell'intera area termale, le cui caratteristiche verranno poi approfondite per la parte ricadente in provincia di Venezia. Le isoterme relative a profondità maggiori di 400 m dal piano campagna delimitano un duomo positivo maggiore di 40 °C tra gli abitati di Cesarolo - Brussa - Bevazzana nel comune di San Michele al Tagliamento (Tav. 11).

Ai fini dell'origine dell'anomalia geotermica è determinante la presenza di un alto strutturale ("dorsale di Cesarolo") della Piattaforma Mesozoica Friulana, interessato da importanti sistemi di dislocazioni orientati ENE-OSO e NO-SE con un rigetto di anche 500 m in corrispondenza della linea Caorle - Vittorio Veneto. Il pozzo AGIP Cesarolo1 ha incontrato alla profondità di 727 m il tetto dei calcari che costituiscono la Piattaforma Mesozoica Friulana, ove è stata riscontrata la temperatura compresa tra 60 e 65 °C. Sopra sono presenti depositi sabbiosi, argillosi e calcareo-arenacei terziari il cui tetto si trova a circa 475 m di profondità; seguono depositi sabbiosi limosi argillosi e torbosi quaternari di origine marina, lagunare e continentale. Più a ovest, presso la Valle Zignago, il pozzo AGIP Cavanello1 ha individuato il tetto del cretaceo a 1140

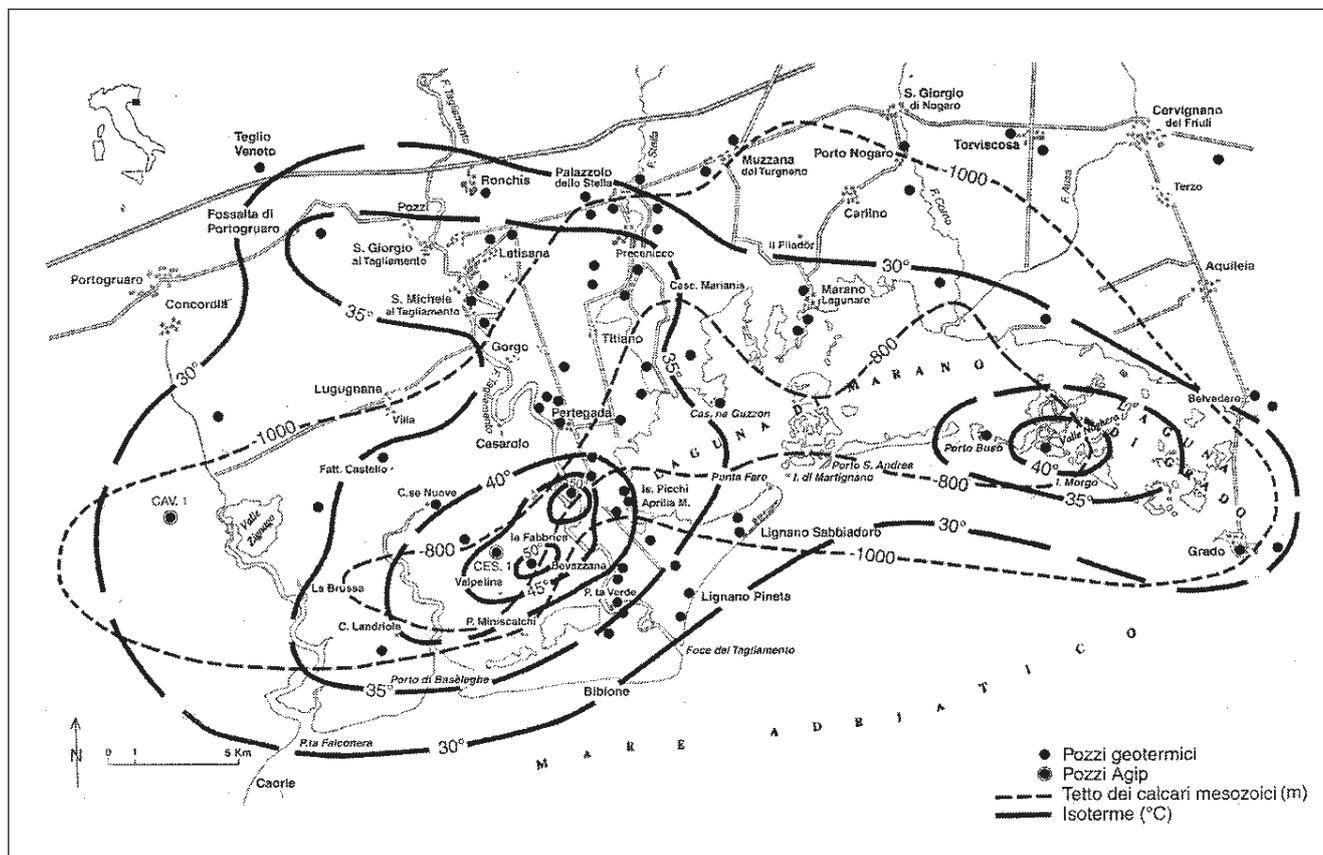


Fig. 12.16 - Inquadramento dell'anomalia geotermica della bassa pianura del Tagliamento. Carta delle isoterme, riferite alla base del Quaternario, e delle isobate del tetto dei calcari mesozoici (da BARNABA, 2001).

m e il tetto del terziario a 745 m circa. In pochi chilometri di distanza la copertura quaternaria aumenta così di 270 m di spessore.

L'alto strutturale è caratterizzato da un nucleo centrale costituito da carbonati di piattaforma, sovrapposti a formazioni di tipo dolomitico e limitati ai lati da formazioni carbonatiche di mare profondo. Questa particolare situazione consente lo sviluppo di un serbatoio entro il quale è possibile si verifichi la circolazione convettiva dei fluidi nei livelli più permeabili della parte superiore della struttura. La presenza di una copertura flyschoida di scarsa permeabilità, interposta fra il tetto dei carbonati e i sovrastanti sistemi acquiferi miocenici e/o quaternari, consente una trasmissione del calore principalmente conduttiva che riscalda gli acquiferi confinati.

Sulla base di questi dati è stato formulato un modello adatto a spiegare l'anomalia termica superficiale; esso prevede la distinzione in tre regimi termici (Fig. 12.17):

- trasmissione conduttiva del calore a opera della dolomia triassica compatta verso il calcare mesozoico sovrastante (a profondità di circa 6-7 km);
- trasmissione convettiva del calore per circolazione di fluidi nel nucleo fratturato dell'alto strutturale calcareo (a profondità di circa 1-3 km);
- trasmissione conduttiva di calore entro il flysch eocenico, le molasse mioceniche e la coltre quaternaria, tramite la quale vengono riscaldati gli acquiferi in essi contenuti.

Dall'analisi dei dati non si ritiene necessario ipotizzare la risalita dei fluidi caldi più profondi fino in superficie

in quanto sarebbero sufficienti i moti convettivi all'interno dei carbonati maggiormente permeabili dell'alto strutturale e la sola conduzione nelle formazioni sovrastanti a giustificare valori di temperatura di circa 50 °C nelle falde poste a 500-600 m di profondità dal piano campagna.

Si riporta (Fig. 12.17) lo schema di interpretazione del circuito termale che, allo stato attuale delle conoscenze, risulta più aderente ai dati disponibili tra quelli proposti.

12.2.5.2. Individuazione degli acquiferi termali

Il quadro stratigrafico complessivo del sottosuolo dell'area termale è schematizzato dai due profili geologici, tra loro trasversali, riportati nella Tav. 11.

Nell'area della risorsa geotermica, al di sopra del substrato roccioso terziario, sono presenti, tra 400 e 600-700 m di profondità, tre falde termali, convenzionalmente definite come 8, 9 e 10 nella serie idrogeologica quaternaria del portogruarese (§ 12.2.5.1 e Tab. 12.2).

I dati disponibili permettono di ricostruire con un certo dettaglio la geometria e l'idrodinamica degli acquiferi 8 e 9, mentre per l'acquifero 10 (che potrebbe corrispondere a più acquiferi) il numero dei dati, a causa della notevole profondità (oltre 600 m), permette una ricostruzione piuttosto approssimativa.

Le risorse termali si originano quindi in un circuito profondo in formazioni geologiche terziarie. Le acque termali si trovano (riscaldate per conduzione) anche nei sovrastanti terreni sciolti prevalentemente quaternari, spessi circa 600 m. Lo sfruttamento attuale riguarda

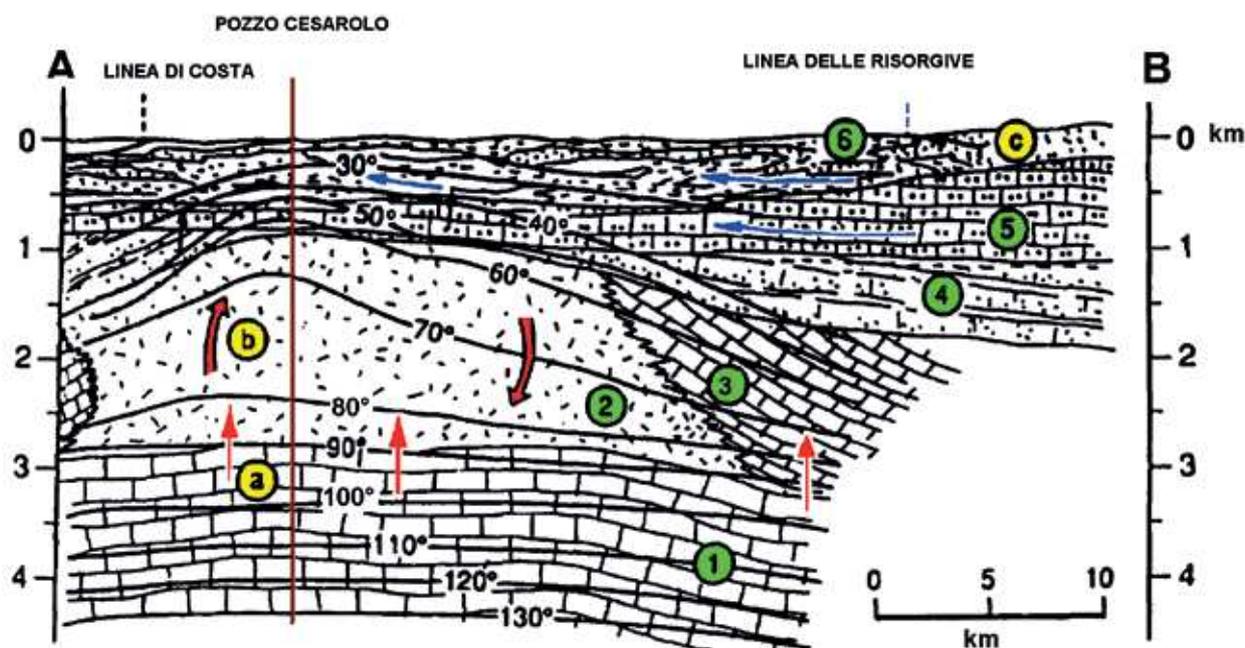


Fig. 12.17 - Schema del sottosuolo dell'area geotermica; Legenda: 1) dolomie e calcari dolomitici (Trias sup.-Lias); 2) Calcare biogenico di piattaforma (Dogger-Cretaceo sup.); 3) Scarpata e calcare di bacino (Dogger-Cretaceo sup.); 4) Flysch (Paleocene-Eocene); 5) Arenarie arcose (Miocene); 6) Depositi fluviali e marini (Quaternario); a) conduzione dominante; b) convezione dominante; c) circolazione superficiale.

esclusivamente questi acquiferi in materiali sciolti. Per questo motivo, le informazioni a oggi disponibili sono relative soprattutto ai primi 600 m di sottosuolo¹⁴.

Il sistema, di notevole complessità idrogeologica, è multifalda, dotato di ricarica nell'area a monte (provincia di Pordenone).

Le analisi isotopiche, chimico-fisiche e idrogeologiche indicano che il complesso sistema multifalda è alimentato da precipitazioni meteoriche attraverso un sistema di bacini situati a varie altitudini. Le acque degli acquiferi con profondità superiore a 400 m hanno tempi di residenza superiore a 40 anni. Secondo gli studi esistenti è ragionevole ipotizzare un tempo di residenza intorno a cento anni.

Le acque prelevate hanno una composizione chimico-fisica con valori di pH neutro (compresi tra 7,0 e 7,2), concentrazioni di sali disciolti tipici di acque dolci, assenza di impatto antropico sulla qualità e caratteristiche "quasi" potabili (secondo il D.Lgs. n° 31/2001), salvo i tipici "superamenti" di origine geologica.

12.2.5.3. Metodologia di valutazione delle potenzialità delle risorse geotermiche

Grazie a misure e rilievi protratti per molti anni è stato possibile definire la potenzialità delle falde geotermiche.

A tale scopo si sono elaborati i dati relativi a:

- spessore e geometria degli acquiferi;
- parametri idrogeologici (porosità, trasmissività e isopieze);
- distribuzione delle isoterme.

Ottenendo:

- il volume dei singoli acquiferi;
- il flusso idrico sotterraneo;

¹⁴ Per scopi geotermici, in futuro, potrà essere di interesse analizzare anche la situazione geologica, idrogeologica ed energetica del circuito termale nel substrato roccioso che attualmente non è interessato da prelievi. Nel Friuli Venezia Giulia è stato realizzato un primo pozzo esplorativo, nell'area di Grado, che ha recentemente raggiunto il substrato terziario.

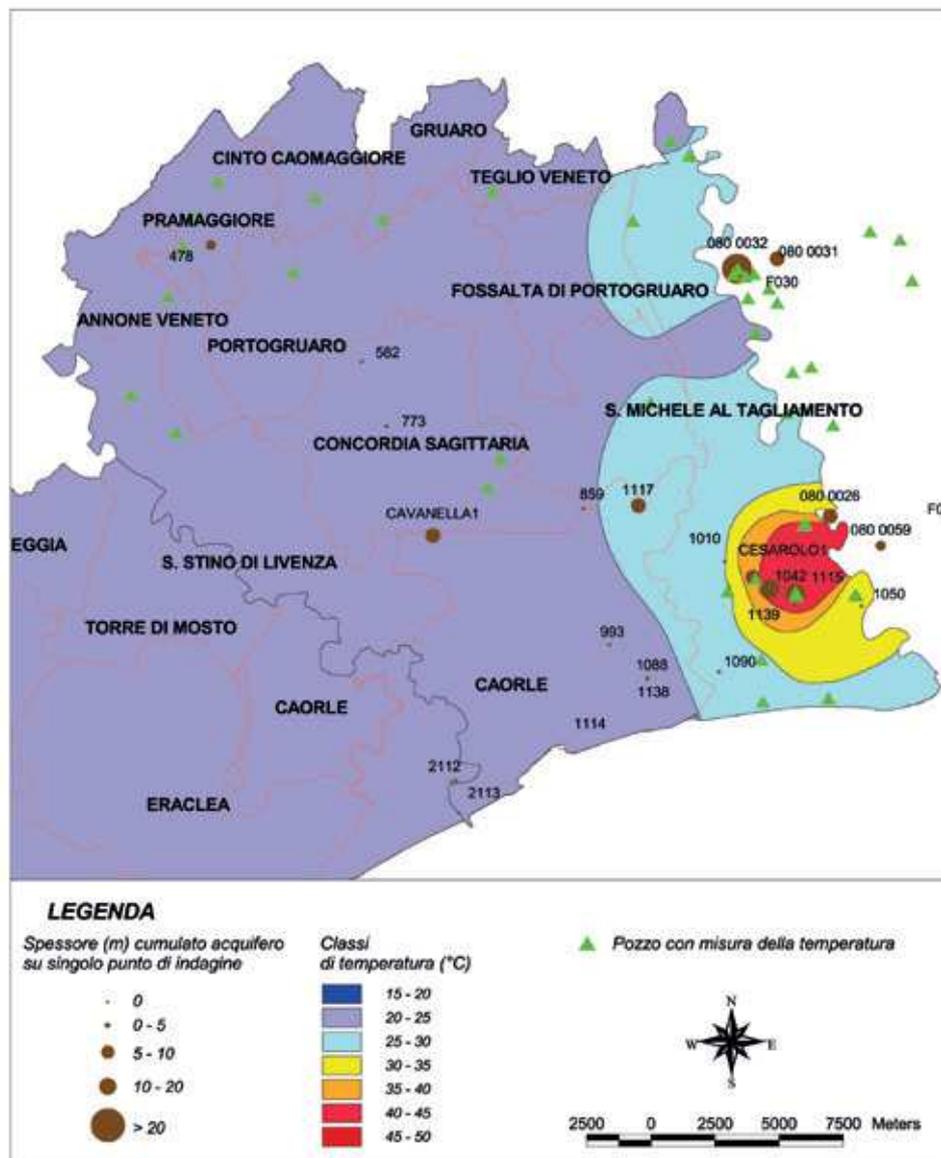


Fig. 12.18 - Spessore e isoterme della falda 8.

- la riserva idrica;
- il contenuto energetico.

Questi dati sono stati confrontati con gli usi attuali e le capacità di ricarica, al fine di valutare l'uso sostenibile della risorsa.

12.2.5.4. Volume degli acquiferi e contenuto energetico

Gli studi effettuati hanno permesso, per la prima volta, di ricostruire tridimensionalmente la geometria degli acquiferi e di calcolare in maniera sufficientemente precisa il volume dell'insieme delle falde (8-9-10) con temperatura maggiore di 25 °C, per la parte ricadente nel Veneto. Infatti, elaborando le stratigrafie dei pozzi, i dati geofisici in foro e altri dati geologici e geofisici, è stato possibile ricostruire la geometria nelle tre dimensioni degli acquiferi e calcolarne il volume. Grazie a numerose misure di temperatura sui pozzi esistenti è stato inoltre possibile ricostruire la distribuzione delle isoterme.

Nelle seguenti cartografie si riporta, per ciascun acquifero, l'ubicazione dei punti di indagine con l'indicazione dello spessore e l'andamento delle isoterme. Le isoterme sono riportate anche nella Tav. 11.

Falda 8

La falda (Fig. 12.18) non è presente nell'intero territorio ma prevalentemente in una fascia parallela al fiume Tagliamento. Raggiunge i massimi spessori nella parte di massima anomalia geotermica. Lo spessore medio è di 7,8 m.

La trasmissività della falda è quindi complessivamente bassa, ma va precisato che in sinistra Tagliamento (Friuli Venezia Giulia) la falda tende a ispessirsi e risulta particolarmente sfruttata.

Falda 9

Interessa (Fig. 12.19) il territorio con spessori generalmente superiori a 20 m; il valore medio, nelle stratigrafie attualmente disponibili, risulta pari a 25,2 m. Dato che il 40% delle stratigrafie non raggiunge la base dell'acquifero

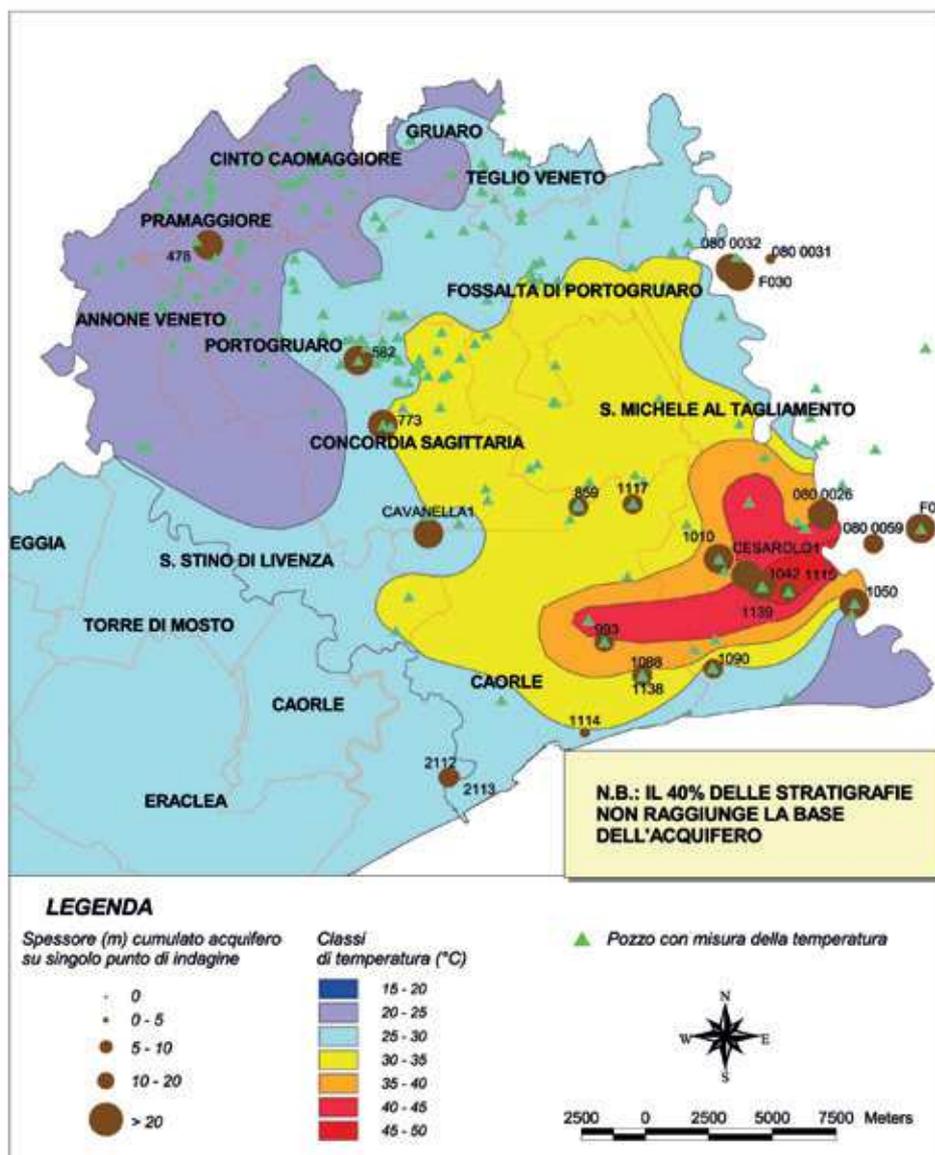


Fig. 12.19 - Spessore e isoterme della falda 9.

base dell'acquifero si tratta di una sottostima. Sulla base dei profili geologici si può ritenere lo spessore pari a circa 30 m. Nei calcoli successivi cautelativamente si è comunque considerato un valore di 26 m.

Falda 10

Data l'elevata profondità e il conseguente bassissimo numero di prospezioni che raggiungono tale "acquifero", non è possibile precisare né lo spessore, né se si tratta di una falda unica.

Va osservato che i dati chimico-fisici rilevati *in situ* segnalano per i pozzi a questa profondità una probabile intercettazione e/o interconnessione con i livelli del substrato oggetto di circolazione del circuito termale profondo.

Nei calcoli si è utilizzato prudenzialmente un valore di 15 m.

Dalle cartografie riportate, per ciascun acquifero è quindi possibile calcolare le aree delimitate dalla isoterme con equidistanza 5 °C.

La seguente Fig.12.20 riporta il valore delle aree contenute dalle singole isoterme per ciascun acquifero.

Si sono utilizzati intervalli di temperatura di 5 °C e si sono considerate termali le acque con temperatura superiore a 25 °C (caratterizzate quindi da gradiente geotermico anomalo).

La Tab. 12.6 riporta il calcolo dei volumi nelle condizioni indicate ai paragrafi precedenti. Il volume dei

reservoir geotermici può essere calcolato con un certo dettaglio per le falde 8 e 9, mentre per la falda 10 i dati hanno valore preliminare. Per calcolare il volume effettivamente occupato dall'acqua è necessaria la conoscenza oltre che della geometria dell'acquifero anche della porosità efficace. E' nota la complessità di definire mediante *test in situ* il valore della porosità efficace in situazioni idrogeologiche come quella in esame. Il metodo più comunemente usato utilizza formule basate su prospezioni di tipo geofisico, quali i *logs* elettrici. Nell'area indagata tali metodi però non sono stati applicabili in quanto richiedono che il foro sia o non rivestito o rivestito con materiali non metallici.

Si è scelto quindi di impiegare, per tutte le falde, in analogia col precedente lavoro di ZANGHERI *et al.*, 2001, un valore di 0,12 che appare coerente con la situazione geologica generale dell'area.

I calcoli riportati in Tab. 12.5 indicano che il volume della porosità efficace dei *reservoir* geotermici, per la parte di bacino termale ricadente nel Veneto, è pari a 2,5 km³.

Per quanto riguarda le potenzialità termiche del sistema, precedenti studi hanno valutato l'energia intrinseca e variabile del sistema geotermico E_p come compresa tra:

$$40.000 < E_p < 50.000 \text{ Gwh.}$$

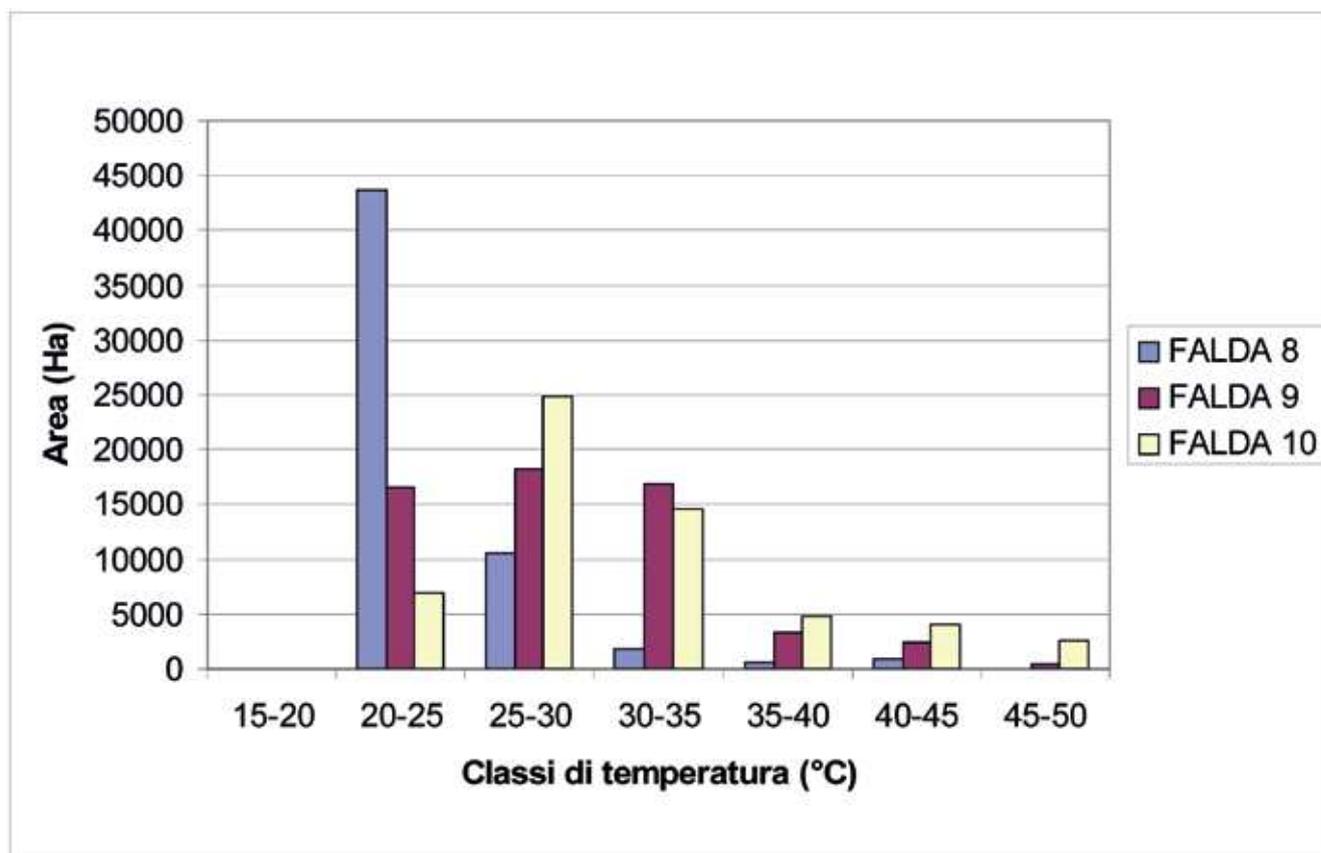


Fig. 12.20 - Area contenuta dalle isoterme con equidistanza 5 °C.

	FALDA 8	FALDA 9	FALDA 10
Classi (°C)	Area (ha)	Area (ha)	Area (ha)
15-20	0	0	0
20-25	43687	16640	6856
25-30	10611	18153	24839
30-35	1870	16901	14536
35-40	595	3245	4839
40-45	939	2349	4075
45-50	0	414	2557

FALDA 8	FALDA 9	FALDA 10	TOTALE
Volume (mc)	Volume (mc)	Volume (mc)	Volume (mc)
99.319.160	566.382.296	447.100.162	1.112.801.619
17.506.440	527.308.665	261.656.168	806.471.272
5.566.891	101.236.272	87.095.530	193.898.693
8.785.990	73.291.240	73.352.439	155.429.669
0	12.916.501	46.027.071	58.943.572

Tab. 12.5 - Volume degli acquiferi termali nel Veneto.

TOTALE	131.178.481	1.281.134.973	915.231.370	2.327.544.825
--------	-------------	---------------	-------------	----------------------

12.2.5.5. Tempi teorici di svuotamento ("depletion")

E' possibile effettuare un calcolo del tempo che teoricamente occorrerebbe per "svuotare" ciascun acquifero nella ipotesi che la portata emunta si mantenga al livello attuale e che l'entità della ricarica sia nulla¹⁵.

I dati necessari per questa verifica sono:

- il volume degli acquiferi termali (valore della "riserva");
- la portata attualmente emunta.

In queste ipotesi risulta (Tab. 12.6) che, con gli attuali prelievi, anche in assenza di ricarica necessitano tempi lunghissimi per "svuotare" completamente l'acquifero. Ad esempio, considerando il volume complessivo degli acquiferi (circa 2,5 km³ nell'area della anomalia geotermica) e una portata di prelievo di 250 l/s, lo svuotamento (in assenza di ricarica) avverrebbe in circa 300 anni.

Si ricorda però che sia le analisi isotopiche che la ricostruzione della struttura geologica dell'acquifero indicano che il sistema idrogeologico è dotato di una sua ricarica e che quindi l'acqua che viene estratta può essere rimpiazzata, da acqua proveniente da monte, fino al limite dato dall'entità della ricarica.

In sintesi dall'analisi delle tabelle risulta che la riserva d'acqua del portogruarese è quantitativamente importante e può essere stimata tra i 7 e i 12 miliardi di m³ (ovvero tra i 7 e 12 km³).

Si tratta di una riserva idrica quantitativamente notevole.

A titolo di confronto si nota che la zona di alimentazione a monte (alta pianura in provincia di Pordenone) riceve una alimentazione di circa 40 m³/s¹⁶. Se tutta

quest'acqua andasse alimentare gli acquiferi confinati del portogruarese¹⁷, risulta che per riempire il loro volume occorrerebbero tra i 6 e i 9 anni di tempo.

Considerando invece la portata che alcuni studi (MOSETTI, 1983) ritengono alimenti le falde in pressione in oggetto¹⁸, stimata in 6 m³/s, in assenza di qualsiasi prelievo il tempo necessario a colmare (e, viceversa, a svuotare con analoga portata) la porosità sale a 38-63 anni. Di conseguenza, considerando che il sistema idrogeologico comprende anche una consistente parte nell'area a monte non compresa nello studio realizzato, è possibile stimare la durata di rinnovamento¹⁹ attorno ai 100 anni²⁰.

¹⁵ Ipotesi, quest'ultima, ampiamente cautelativa. Si ricorda inoltre che non è praticamente possibile attuare il totale "svuotamento" di un acquifero.

¹⁶ Il dato è noto solo approssimativamente (cfr. MOSETTI, 1983).

¹⁷ Ovvero senza prelievi, senza risorgive e senza alcun altro elemento di drenaggio naturale, e inoltre senza considerare i volumi acquiferi in continuità con quelli in parola ricadenti in provincia di Pordenone.

¹⁸ Compresa quindi la parte a nord ricadente in provincia di Pordenone.

¹⁹ Si definisce durata di rinnovamento la durata teorica necessaria affinché il volume cumulato dell'alimentazione dell'acquifero sia eguale alla sua riserva.

²⁰ Si osserva che questo dato risulta coerente con le nuove indagini isotopiche eseguite nell'ambito dello studio effettuato.

Falda	Prelievo totale max. (m ³ /anno)	Prelievo totale min. (m ³ /anno)	Volume risorsa termale (m ³)	Tempo "svuotamento" max. (anni)	Tempo "svuotamento" min. (anni)
8	8,7E+05	1,5E+06	1,3E+08	151	90
9	2,5E+06	4,1E+06	1,4E+09	562	337
10	4,5E+05	7,6E+05	9,2E+08	2015	1209

Tab. 12.6 - Tempi teorici di "svuotamento" degli acquiferi termali nel Veneto.

Il tema del razionale utilizzo della risorsa va quindi affrontato non tanto per un rischio di mancanza di disponibilità di acqua sotterranea, ma relativamente agli effetti della depressurizzazione dell'acquifero e del mantenimento della qualità delle acque sotterranee.

Infatti con le portate attuali non si evidenzia un immediato problema di disponibilità idrica, ma un rischio di depressurizzazione degli acquiferi a cui concorre non solo il prelievo dagli acquiferi nell'area termale, ma anche quello nell'area a monte.

Di conseguenza la sostenibilità del prelievo va valutata principalmente sulla base del valore di depressurizzazione accettabile.

12.2.5.6. Evoluzione del sistema: prevalenza e temperatura

Essendo state svolte due campagne di misura (1997 e 2004)²¹ sull'area termale, è possibile svolgere una prima valutazione dell'evoluzione del sistema in relazione a due fondamentali parametri: prevalenza e temperatura.

I dati relativi ai rilevamenti e monitoraggi idrogeologici svolti, rispetto alle campagne effettuate nel 1997-2001 e 2004, mostrano una riduzione della prevalenza, quantificata mediamente in ben 70 cm/anno, mentre le temperature si mantengono su valori pressoché costanti.

Il calo della piezometria è in relazione all'emungimento contemporaneo di tutti i pozzi negli ultimi vent'anni circa. Tali diminuzioni, pur in presenza di risorse indubbiamente considerevoli, evidenziano una significativa dispersione della risorsa, visto il notevole numero di utilizzazioni a erogazione continua e quindi "a perdere". E' da notare che il sistema sta localmente perdendo le caratteristiche di erogazione spontanea.

Non si hanno invece differenze apprezzabili nei valori di temperatura.

Il confronto tra le due campagne per temperatura e piezometria è riportato graficamente nella Fig. 12.21 e nella Fig. 12.22.

In generale si nota un calo della piezometria delle falde per cui si ha anche un conseguente calo delle portate spontanee erogabili. Essendo la maggior parte dei pozzi privi di pompa, ciò comporta a parità di numero di pozzi una diminuzione anche delle portate prelevate. Per quanto riguarda i fattori antropici, va notato che un ulteriore aumento dei prelievi nella sovrastante pianura pordenonese comporterà necessariamente un calo delle portate in ingresso nelle falde del territorio provinciale.

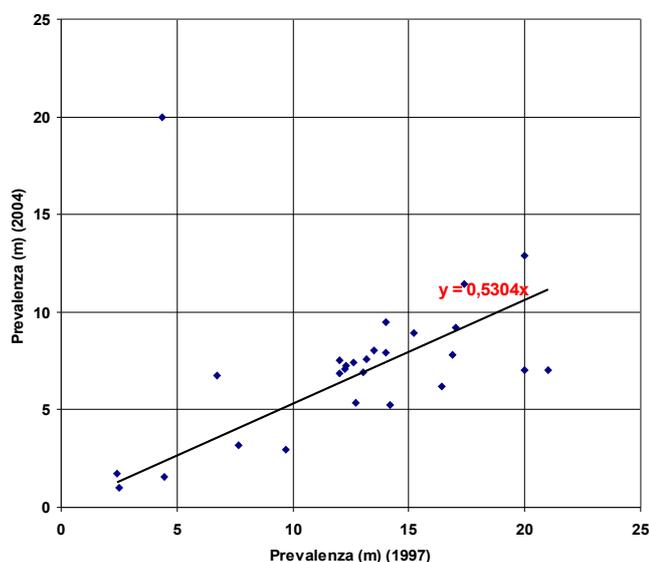


Fig. 12.21 - Confronto dei valori di prevalenza misurati nelle campagne del 1997 e del 2004.

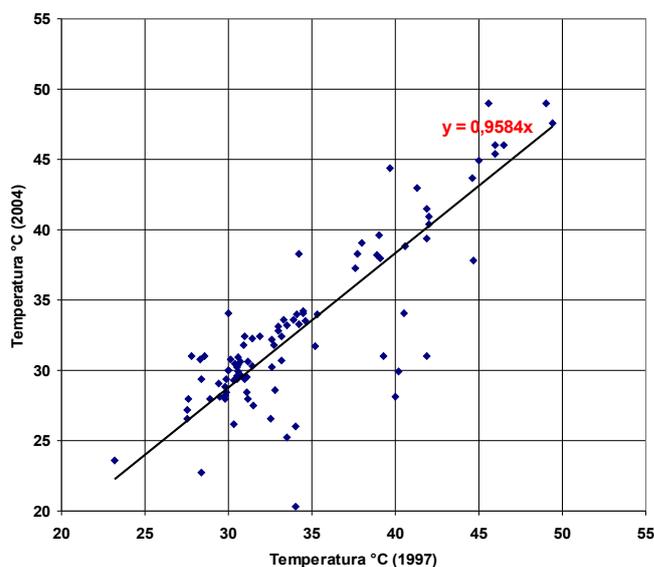


Fig. 12.22 - Confronto dei valori di temperatura misurati nelle campagne del 1997 e del 2004.

²¹ La prima (1997) a cura della Provincia nell'ambito della "Indagine idrogeologica del territorio provinciale" e proseguita (2001) con le indagini del Consorzio di Bonifica Pianura Veneta tra Livenza e Tagliamento assieme alla Provincia di Venezia col progetto "Indagine sulle acque sotterranee del portogruarese"; la seconda (2004) con gli studi realizzati dal Consorzio di Bonifica citato con finanziamento della Regione Veneto.

12.3. GLI ACQUIFERI SUPERFICIALI

12.3.1. Gli acquiferi superficiali e le indagini in corso

Mediante lo studio delle unità geologiche della provincia (capitolo 8), si è acquisito un quadro complessivo della situazione geologica delle prime decine di metri di sottosuolo.

Ciò permette di affrontare il tema anche della ricostruzione idrogeologica del primo sottosuolo. A tale scopo la Provincia ha individuato uno specifico progetto (il progetto IDRO) che è attualmente (2011) al terzo anno di svolgimento.

Lo studio in corso si basa sulla metodologia messa a punto nell'ambito di un progetto dedicato alla idrogeologia dell'area di Porto Marghera, i cui risultati saranno oggetto dei prossimi paragrafi e specificati nell'apposita scheda.

In altra scheda viene poi trattato il "Progetto IDRO".

12.3.2. L'area campione di Porto Marghera - Definizione di una metodologia di studio per gli acquiferi superficiali di bassa pianura

Lo studio realizzato sull'area campione di Porto Marghera (di cui alla scheda nella pagina seguente) può essere schematicamente suddiviso in due fasi:

- ricostruzione del modello geologico di riferimento;
- ricostruzione del modello idrogeologico di riferimento.

12.3.2.1. Il modello geologico di riferimento

Ai fini della definizione del modello idrogeologico il piano di lavoro ha previsto:

- aggiornamento struttura e implementazione banca dati geologico-stratigrafica;
- elaborazioni propedeutiche (elaborazione del microrilievo e della distribuzione e spessore di livelli litologici significativi);
- distribuzione delle sabbie su spessori di 2 m (metodo per l'individuazione delle direttrici di sedimentazione);
- profili geologici serati in relazione ai più probabili trend deposizionali (10 paralleli e 10 perpendicolari);
- zonazione in unità idrostratigrafiche;
- profili rappresentativi delle sequenze idrostratigrafiche (sequenze tipo);
- ricostruzione delle isobate del primo acquifero significativo;
- distribuzione dei livelli permeabili-impermeabili-caranto²²;
- datazioni e caratterizzazione dei sedimenti;
- elaborazione tridimensionale dei profili geologici mediante strumenti GIS e CAD;
- ricostruzione dei principali corpi sabbiosi e dei loro collegamenti con le aree a monte;
- rappresentazione cartografica e tridimensionale di sintesi;
- inserimento/confronto contestualizzazione nel qua-

dro geologico a scala provinciale (carta delle Unità Geologiche - Tav. 10).

Alla base delle elaborazioni vi è la già citata Banca Dati stratigrafica della Provincia di Venezia²³. I dati stratigrafici utilizzati coprono gran parte dell'area del SIN²⁴ di Venezia Porto Marghera. Infatti i dati utilizzati per le elaborazioni suddette ammontano a circa 2300 stratigrafie per la sola area di Porto Marghera (cfr. Tav. 7, dove in un apposito ingrandimento si riportano le loro ubicazioni).

Le indagini e gli studi condotti hanno consentito di produrre numerosi elaborati stratigrafici relativi al riporto, all'andamento del caranto (laddove presente), alla ricostruzione della successione temporale dei corpi sabbiosi significativi che, nel complesso, hanno condotto alla realizzazione di venti profili stratigrafici e alla redazione della Carta delle sequenze idrostratigrafiche tipo. Tale elaborato suddivide l'area in ambiti stratigrafici omogenei in relazione alla loro possibilità di ospitare o meno un mezzo poroso e permeabile sede di acquifero. Si riconoscono infatti settori dove non sono stati individuati spessori significativi di materiale permeabile e altri dove si trovano corpi acquiferi/sabbiosi molto potenti. La Carta inoltre, distingue i diversi ambiti anche in funzione dell'approfondimento dei suddetti corpi.

L'insieme di queste elaborazioni ha permesso alla fine di definire il modello geologico di riferimento dell'area di Porto Marghera, base per tutte le successive elaborazioni idrogeologiche. Il modello geologico è schematicamente rappresentato nella Fig. 12.23 e tridimensionalmente nella Fig. 12.27.

Il modello concettuale si può schematizzare, procedendo da nord a sud, in questo modo:

- due corpi sabbiosi superficiali interconnessi, con uno spessore che arriva anche a 20 m, ubicati nella zona a nord (area di viale San Marco e Isola Portuale);
- due corpi sabbiosi profondi nella zona più a sud tra loro interconnessi (zona Fusina e Naviglio Brenta);
- una zona interessata dalla presenza di due acquiferi separati nell'area del Nuovo Petrolchimico e, limitatamente, nell'estremità orientale della penisola di Fusina;
- una fascia centrale allungata in senso E-O che separa i corpi sabbiosi settentrionali da quelli meridionali, costituita prevalentemente da materiale fine pressoché impermeabile (*acquiclude/aquitardi*).

²² Il "caranto" è trattato in un'apposita scheda nel capitolo 8 "Geologia" e nel capitolo 6 "Suoli".

²³ Vedi anche il capitolo 5 "Banche dati" e la Tav. 7.

²⁴ SIN: "Sito d'Interesse Nazionale". La vigente normativa in tema di bonifica dei siti contaminati (art. 252 del D.Lgs. n° 152/2006) prevede che i siti contaminati di maggiore rilevanza per estensione ed entità della contaminazione siano dichiarati di "interesse nazionale". Il sito industriale di "Venezia-Porto Marghera" è compreso nell'elenco dei siti di interesse nazionale individuati dalla Legge 426/98 e ne è stata definita la perimetrazione col Decreto del Ministero dell'Ambiente del 23 febbraio 2000.

IL PROGETTO “INDAGINE IDROGEOLOGICA SULL’AREA DI PORTO MARGHERA”

Con la DGRV n° 4879 del 28 dicembre 1999 è stato avviato lo studio idrogeologico sull’area di Porto Marghera. Tale delibera prevedeva che l’indagine fosse svolta in due fasi e che la prima fase contemplasse la stesura di un dettagliato piano di lavoro per lo svolgimento della seconda fase. Con le Delibere n° 4225/2004, n° 3359/2005 e n° 3615/2005 la Regione Veneto - Direzione Progetto Venezia ha attivato il completamento dello studio incaricando la Provincia di Venezia - Servizio Geologico e Difesa del Suolo di coordinare la seconda fase dell’indagine idrogeologica.

L’avvio della seconda fase è avvenuto in un momento particolarmente favorevole in quanto ha potuto acquisire una notevole mole di dati e informazioni di carattere stratigrafico provenienti dalle indagini di caratterizzazione ambientale che nel frattempo erano state realizzate dai titolari delle aree interessate.

L’elaborazione delle numerose stratigrafie ha permesso di costruire il modello geologico del sottosuolo che è risultato essere incongruente con il modello concettuale riportato nel *Master Plan* vigente²⁵.

Tali incoerenze si sono manifestate già durante la terebrazione dei sondaggi ambientali delle caratterizzazioni quando, in molte circostanze, è stata appurata la non corrispondenza della stratigrafia effettiva con il modello concettuale vigente.

Ciò ha inevitabilmente sollevato delle difficoltà operative in quanto l’unico riferimento tecnico-procedurale a oggi vigente, ossia il modello concettuale stratigrafico del *Master Plan*, non è, in molti casi, applicabile ai casi reali, lasciando così aperta una situazione di incertezza sulle soluzioni tecniche da applicare ai fini del risanamento ambientale dei siti contaminati.

Lo studio idrogeologico ha pertanto affinato e, in molti

casi, ridefinito il modello stratigrafico esistente approssimandolo maggiormente alla situazione geologica effettiva e garantendo ai soggetti che operano nell’area uno strumento di orientamento maggiormente affidabile. Esso ha inoltre individuato i principali acquiferi e definito l’assetto idrogeologico locale, parametrizzando gli acquiferi e valutando i flussi idrici sotterranei.

Con lo studio si è quindi ottenuto il quadro geologico e idrogeologico di riferimento necessario sia per gli operatori che intervengono su aree parziali sia per gli enti che devono programmare le attività di area a scala complessiva.

Elemento importante e innovativo è stata la presenza di un “Tavolo tecnico” di monitoraggio delle attività di ricerca aperto a tutti gli enti e alle strutture interessate; esso ha coinvolto ARPAV, Autorità Portuale di Venezia, Comune di Venezia, Consorzio Venezia Nuova, I.C.R.A.M., Magistrato alle Acque di Venezia, Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, Provincia di Venezia - Servizio Geologico e Difesa del Suolo, Regione Veneto - Direzione Progetto Venezia e Università degli Studi di Padova - Dipartimento di Geografia, permettendo così la condivisione della metodologia di lavoro.

Lo studio completo con il nome degli autori è disponibile sul sito *internet* della Regione Veneto²⁶.

Rielaborazione dalla presentazione sul sito della Regione Veneto a cura di Pietro Zangheri

²⁵ Il “*Master Plan*” è spiegato in nota al § 12.3.2.1.

²⁶ <http://www.regione.veneto.it/Ambiente+e+Territorio/Territorio/Venezia+e+Porto+Marghera/Bonifiche+e+risanamento+ambientale/Indaginelidrogeologia.htm>

Tutte le elaborazioni di carattere idrogeologico si sono basate su questa ricostruzione e si inseriscono negli studi svolti in collaborazione con il Dipartimento di Geografia dell’Università di Padova sull’evoluzione sedimentaria dei principali corpi alluvionali, e in particolar modo del megaconoide (megafan) del Brenta. Tali elementi hanno permesso di costruire il modello concettuale stratigrafico dell’area del SIN, svincolandosi da una riduttiva elaborazione statistica dei dati (presente in precedenti elaborati pianificatori), ma servendosi di un modello evolutivo riconosciuto e condiviso.

In sintesi, l’indagine sulla base di profili geologici individua e rappresenta quattro strutture (o sistemi) morfo-sedimentarie principali a granulometria grossolana (oltre al sistema a doppia falda presente unicamente nella Penisola della Chimica, già noto dal *Master Plan*²⁷). Questi sistemi sono caratterizzati da almeno una successione continua di sabbie e sabbie limose di spessore maggiore a 6 m.

La sedimentazione è relativamente grossolana con granulometrie che variano dai limi sabbiosi alla sab-

bia media-grossolana con una netta prevalenza delle sabbie fini e medio fini più o meno limose.

I quattro sistemi sono stratigraficamente sottostanti al

²⁷ Con D.P.C.M. del 15.11.2001 è stato approvato l’Atto Integrativo dell’Accordo di Programma per la Chimica di Porto Marghera; all’interno di tale Atto si prevede l’elaborazione e l’approvazione di un apposito “*Master Plan*” che, nel rispetto della normativa vigente e delle finalità dell’Accordo sulla Chimica di Porto Marghera, individui e cadenzi gli interventi nonché le priorità e i tempi delle iniziative da assumere nel sito; in tal modo verrebbero pianificate le ulteriori necessarie investigazioni di dettaglio e i progetti di recupero produttivo, occupazionale, di tutela ambientale e sanitaria e definire in un contesto unitario le scelte strategiche di intervento. Il *Master Plan*, redatto da un gruppo di lavoro coordinato dalla Regione Veneto, è stato approvato con Deliberazione della Conferenza di Servizi dell’accordo per la chimica n° 1 del 22.04.2004, pubblicata sul Bollettino Ufficiale della Regione Veneto n° 73 in data 23.07.2004.

Il *Master Plan* è integralmente scaricabile dal sito *internet* della Regione Veneto: <http://www.regione.veneto.it/Ambiente+e+Territorio/Territorio/Venezia+e+Porto+Marghera/Bonifiche+e+risanamento+ambientale/masterpl.htm>.

IL PROGETTO “IDRO” STUDIO IDROGEOLOGICO DEGLI ACQUIFERI SUPERFICIALI E INTERFERENZA CON GLI INTERVENTI ANTROPICI NEL SOTTOSUOLO

Paolo Fabbri²⁸, Pietro Zangheri²⁹

Gli acquiferi superficiali sono di notevole interesse in rapporto ai compiti istituzionali della Provincia. Sono infatti gli acquiferi presenti nel primo sottosuolo che interferiscono maggiormente con le attività umane (agricole, opere nel sottosuolo, reti di drenaggio e tecnologiche ...).

Questa consapevolezza ha spinto la Provincia a effettuare uno specifico approfondimento su questo tema tramite il progetto “IDRO”. Nasce alla fine del 2008 come progetto pluriennale e coinvolge l'Università di Padova (Dipartimento di Geoscienze e Dipartimento di Geografia con i quali sono state sottoscritte due apposite convenzioni). I responsabili scientifici sono Pietro Zangheri (per la Provincia) e Paolo Fabbri (per l'Università di Padova) e vi partecipa un gruppo di tecnici in parte afferenti direttamente al Servizio Geologico provinciale (responsabile Valentina Bassan) e in parte con borse di studio presso i citati Dipartimenti.

La prima parte del progetto, in assenza, nella letteratura idrogeologica, di una metodologia direttamente applicabile al particolare territorio di bassa pianura, si è focalizzata sulla messa a punto di una specifica metodologia e sulla sua applicazione in “aree campione”.

Il metodo si basa sulla esperienza acquisita nella “Indagine idrogeologica sull'area di Porto Marghera” (si veda la spe-

cifica scheda); un lavoro di grande dettaglio che, a partire dalla sistematizzazione di un elevatissimo numero di dati, ha permesso di ricostruire il quadro geologico e idrogeologico del sito.

Il metodo prevede l'individuazione dei principali corpi acquiferi di interesse a scala provinciale, mediante una ricostruzione tridimensionale del sottosuolo, che parte da quanto realizzato nell'ambito delle unità geologiche e va a delimitare, mediante specifici approfondimenti, le porzioni di sottosuolo interessate da acquiferi.

Una volta delimitati gli acquiferi ne viene fatta la caratterizzazione idrogeologica in termini di parametri idrogeologici (trasmissività, permeabilità ecc.), di modalità di deflusso (campo di moto) e interrelazione con altri corpi idrici (rete scolante, lagune, corsi d'acqua ...).

I risultati di questo studio saranno oggetto di una pubblicazione da parte della Provincia, finalizzata alla divulgazione e valorizzazione dei dati e che sarà consultabile anche nel suo sito *web*.

²⁸ Università di Padova, Dipartimento Georisorse.

²⁹ Geologo - Studio Tecnico Zangheri & Basso - Padova - www.progettazioneambientale.it.

“caranto” (laddove presente) e da esso idrogeologicamente confinati. Sono costituiti dalla sovrapposizione in aree più o meno ristrette di diversi corpi sabbiosi, legati alla dinamica pleistocenica, talora intercalati da strati a sedimentazione limosa argillosa ed eventuale presenza di torbe. I corpi sono interrotti lateralmente da tratti a prevalente deposizione fine e possono chiudersi piuttosto nettamente o mantenere una continuità laterale ma spessori più modesti.

I corpi sabbiosi sono schematizzati nella Fig. 12.23.

Procedendo da sud verso nord si incontrano:

- **corpo sabbioso di Fusina:** situato proprio in corrispondenza del Naviglio Brenta, è un corpo piuttosto tabulare con spessori massimi compresi fra -2 e -13 m s.l.m. e larghezza incerta poiché il limite sud risulta non definito;
- **corpo sabbioso di Malcontenta:** posizionato nel sottosuolo della darsena sud dell'area industriale di Porto Marghera, è una successione di corpi sabbiosi sovrapposti di larghezza totale attorno a 800 m, con una parte profonda compresa circa fra -10 e almeno -30 m s.l.m., collegata a una parte più superficiale e spostata di qualche centinaio di metri verso nord, di spessore analogo e tetto a circa -3 m s.l.m. Spostandosi verso est, esso tende a dividersi in due distinti corpi sabbiosi separati da un livello di sedimenti fini analogamente a quanto riscontrato anche nella penisola della chimica;
- **sistema doppio acquifero confinato:** direttamen-

te interconnesso con il corpo sabbioso di Malcontenta, è costituito da due corpi sabbiosi sovrapposti tra loro separati da un livello a bassa permeabilità; caratterizza la Penisola della Chimica e, erroneamente, in documenti pregressi era considerato lo schema idrogeologico tipico dell'intera area di Porto Marghera;

- **corpo sabbioso dell'area portuale:** situato in corrispondenza dell'area ferroviaria del porto commerciale, è un corpo sabbioso largo circa 400 m e di spessore compreso fra -3 e -18 m s.l.m.; sembra impostato sulla direttrice che da Salzano attraversa Spinea e Chirignago fino al centro di Marghera;
- **corpo sabbioso di viale San Marco:** situato in corrispondenza dell'area sud-orientale di Mestre attraversata da via Forte Marghera e viale San Marco, questo corpo sabbioso tabulare è di larghezza imprecisata, ma sicuramente superiore a 1200 m e spessore attorno a 8/9 m; è sub-superficiale (con quote del tetto comprese fra +1 e 0 s.l.m.) e verso l'area dell'Osellino a nord presenta un approfondimento con le quote del letto attorno a 12/13 m s.l.m. E' impostato sulla direttrice che da Noale e Maerne si dirige verso il centro di Mestre in corrispondenza del fiume Marzenego, caratterizzata dalla presenza di potenti strati di sabbia il cui tetto si trova a una profondità variabile tra -2 e -4 m dal p.c., con letto fino a -18 m e spessori massimi delle sabbie di circa 16 m; la caratteristica che spesso accomuna la descrizione di queste sabbie, e che ha permesso di

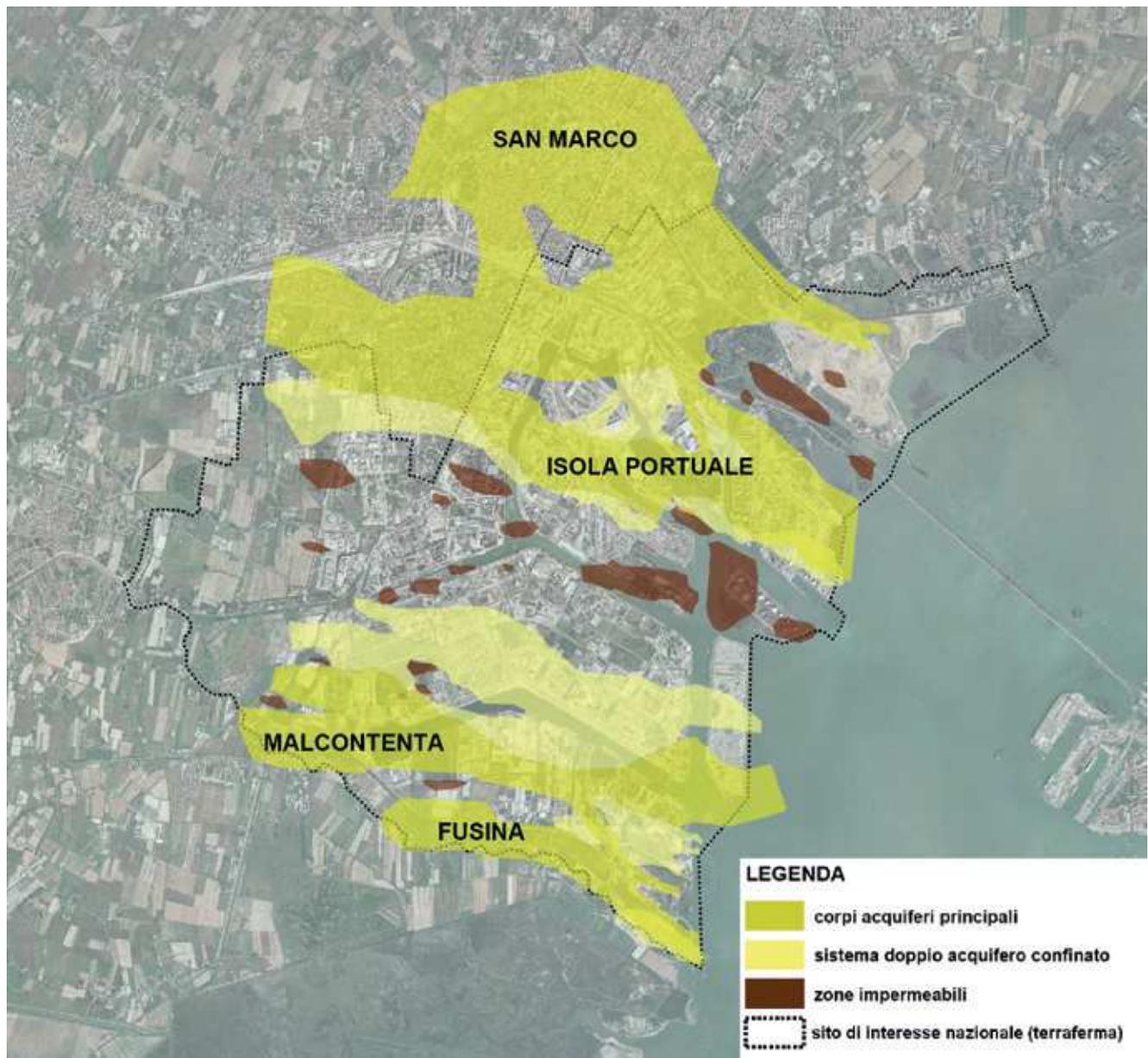


Fig. 12.23 - Principali corpi sabbiosi pleistocenici al di sotto del caranto individuati nel SIN di Porto Marghera (fonte: REGIONE VENETO & PROVINCIA DI VENEZIA, 2009).

associarle tra loro, è la presenza in tracce di ghiaia da media a fine (con diametro massimo da 2 a 4 cm) nella parte bassa della sequenza, riscontrabile da Noale fino al centro di Mestre.

Lo studio dell'area a monte ha permesso di identificare, seppur con minor dettaglio, i collegamenti dei corpi acquiferi individuati nell'area di Marghera con le aree a monte. I principali collegamenti che individuano le direttrici sedimentarie del Brenta pleistocenico sono schematizzate nella Fig. 12.24.

I corpi sabbiosi hanno il tetto che si localizza a diverse profondità rispetto al piano campagna, indicando una presumibile epoca di attività diversa. I corpi presenti nella parte più a sud risultano più profondi, mentre quelli più a nord hanno il tetto più prossimo alla superficie. In particolare il corpo di viale San Marco in Mestre risulta subaffiorante e l'acquifero da confinato diviene semi-confinato o a falda libera.

Questo andamento è ben individuabile nella carta del "Tetto del primo acquifero significativo nel SIN di Porto Marghera" (Fig. 12.25) dove è evidente come, spostandosi progressivamente verso nord, i corpi sabbiosi tendano a divenire più superficiali (e, come evidenziabile dai profili geologici, anche più potenti), mentre nella parte centrale il tetto del primo acquifero è profondo.

Questo andamento corrisponde anche a quello della quota e dello spessore del "caranto" (Fig. 12.26) che, sempre spostandosi verso nord, tende a salire di quote e a diminuire in potenza. Si ricorda che il "caranto"³⁰ è un paleosuolo con caratteristiche analoghe ai suoli della bassa pianura pleistocenica del Brenta. Esso

³⁰ Si ricorda ancora che il "caranto" è trattato in un'apposita scheda nel capitolo "Geologia"; se n'è anche scritto nel capitolo 6 "Suoli".

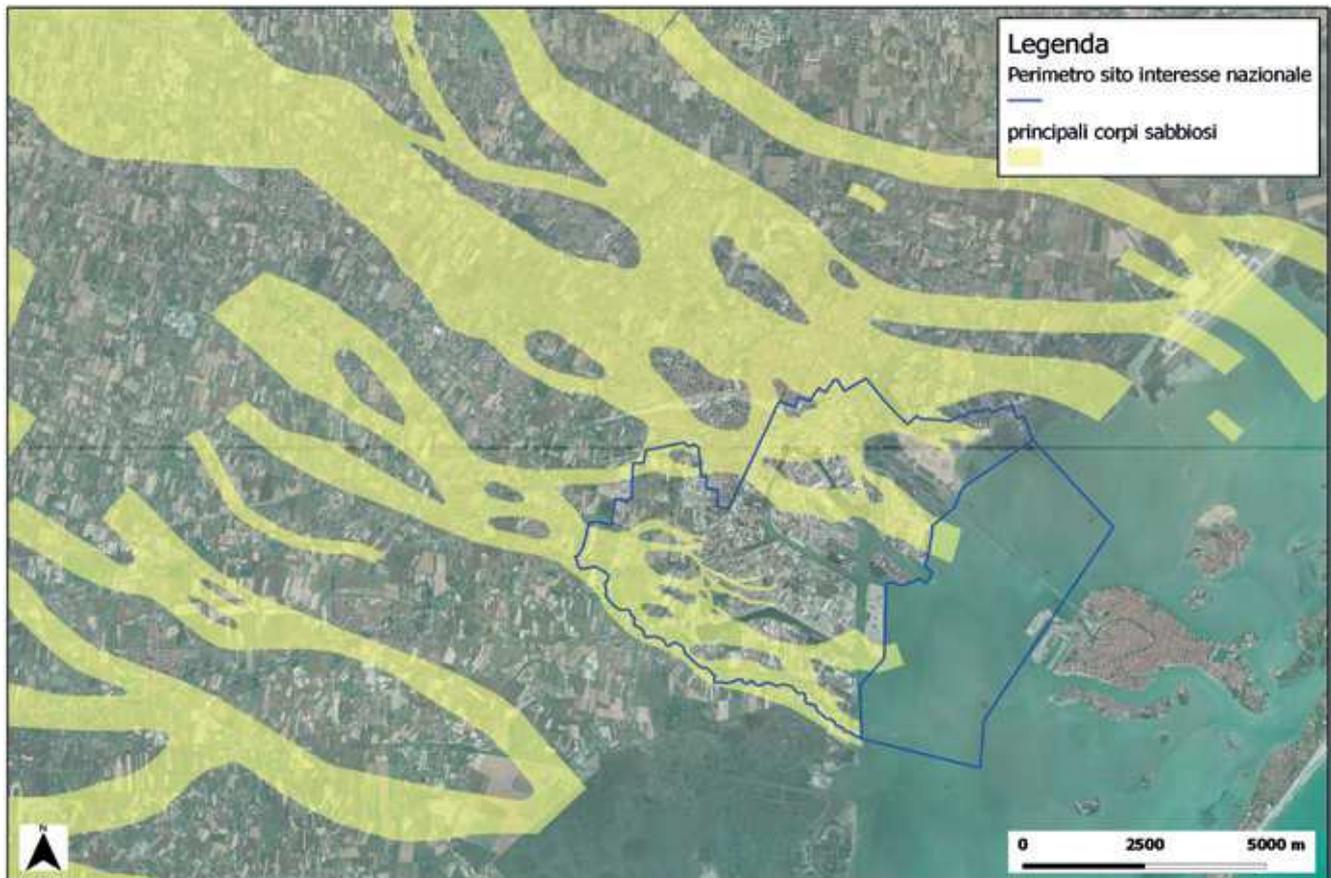


Fig. 12.24 - Principali corpi sabbiosi individuati nel SIN di Porto Marghera e loro collegamento con le aree a monte (fonte: REGIONE VENETO & PROVINCIA DI VENEZIA, 2009).

rappresenta un livello stratigrafico guida, nonostante sia in parte discontinuo, e il limite tra le alluvioni del Brenta pleistocenico e quelle del Brenta olocenico. Generalmente si presenta come uno strato di spessore variabile mediamente tra 1 e 2 m, costituito da limo argilloso o argilla sovraconsolidati a causa della lunga pedogenesi, con colorazioni screziate dall'ocra al grigio, contenente comuni noduli carbonatici duri, con diametro da pochi mm ad alcuni cm.

12.3.2.2. Il modello idrogeologico di riferimento

Per quanto riguarda l'aspetto idrogeologico del SIN di Porto Marghera (Fig. 12.27), l'obiettivo dello studio è stato quello di definire e parametrizzare le strutture idrogeologiche individuate nelle tre dimensioni estendendo l'analisi anche alle aree di potenziale interazione. In questo modo è stato possibile definire la geometria degli acquiferi, caratterizzare ogni acquifero significativo sulla base dei principali parametri (permeabilità, trasmissività ecc.), gestire le informazioni provenienti dalle campagne di monitoraggio piezometrico, valutare il livello medio della falda, le sue principali influenze e i flussi. Infine, è stata valutata, in funzione dell'andamento della conducibilità elettrica delle acque lungo la verticale, l'intrusione del cuneo salino³¹.

Lo schema di questa parte del lavoro ha previsto:

- aggiornamento della banca dati idrogeologica;
- ricostruzione della geometria degli acquiferi;

- parametrizzazione degli acquiferi (conducibilità idraulica - k , spessore - H , trasmissività - T), mediante *test* idrogeologici in sito;
- definizione dei fattori influenzanti i flussi idrici e le piezometrie (canali lagunari e, in terraferma, idrovore, emungimenti e diaframmi per la messa in sicurezza);
- definizione del regime piezometrico mediante monitoraggi in continuo;
- distribuzione delle piezometrie e dei gradienti;
- distribuzione di altri parametri (cuneo salino);
- valutazione dei flussi idrici sotterranei;
- quadro idrogeologico di sintesi.

Uno dei principali obiettivi del progetto è stata la *parametrizzazione degli acquiferi*. A tale fine mediante *test* in sito (principalmente *slug test*³², per la possibilità di eseguire numerose prove in tempi relativamente brevi) è stata misurata la permeabilità dei principali corpi acquiferi. L'ubicazione delle prove è riportata nella Tav. 11, mentre una rappresentazione di sintesi dei

³¹ Vedi anche il capitolo 17 "Intrusione salina".

³² Lo *slug test* è un metodo rapido per la misura, *in situ*, della permeabilità di un acquifero. Il metodo prevede di far variare repentinamente il livello piezometrico attraverso l'immissione di un solido di volume noto (lo "*slug*"). La misura dell'andamento del livello nel tempo fino al riequilibrio permette, tramite apposite formule, di calcolare la permeabilità.

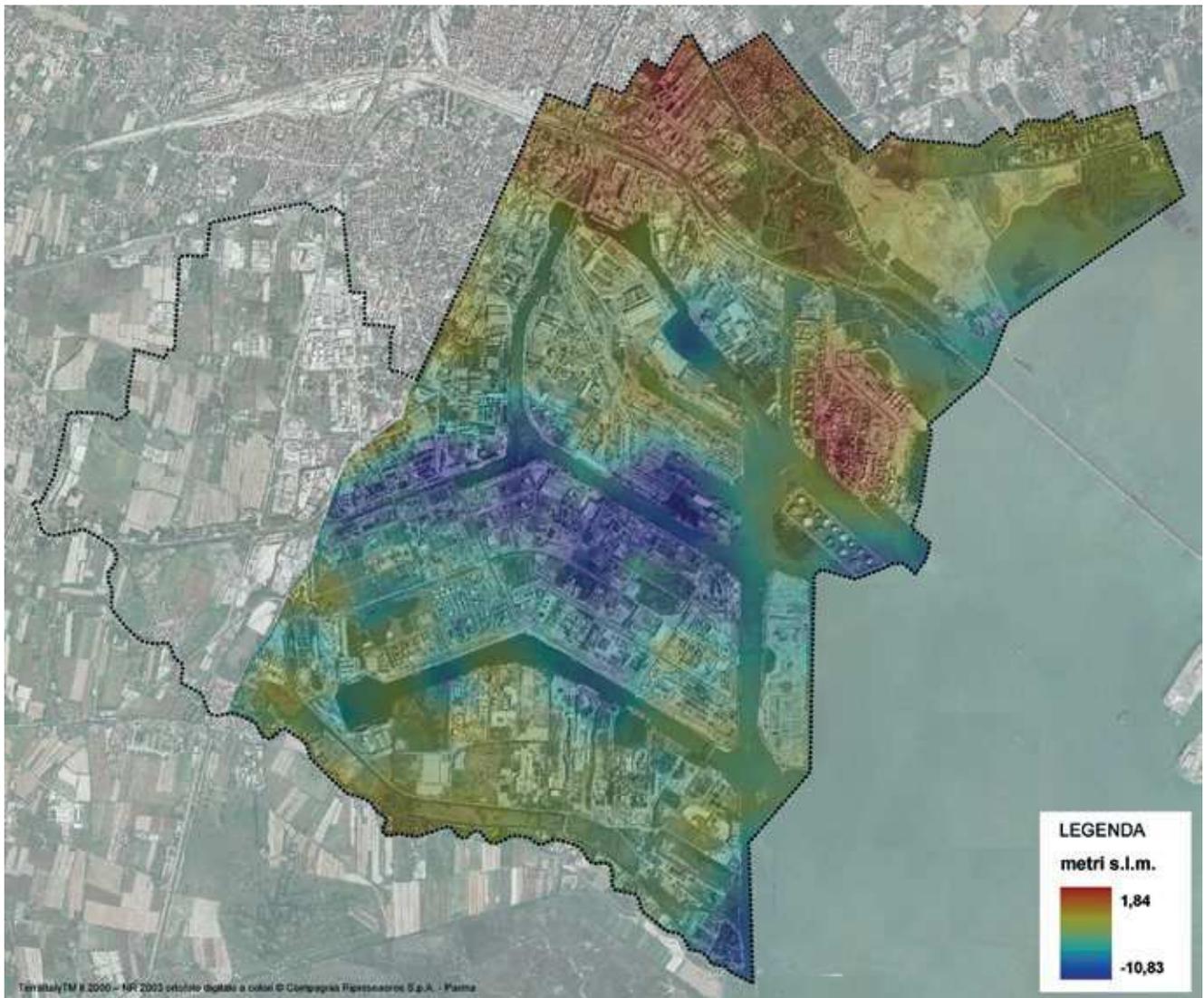


Fig. 12.25 - Tetto del primo acquifero significativo nel SIN di Porto Marghera (fonte: REGIONE VENETO & PROVINCIA DI VENEZIA 2009; aggiornato).

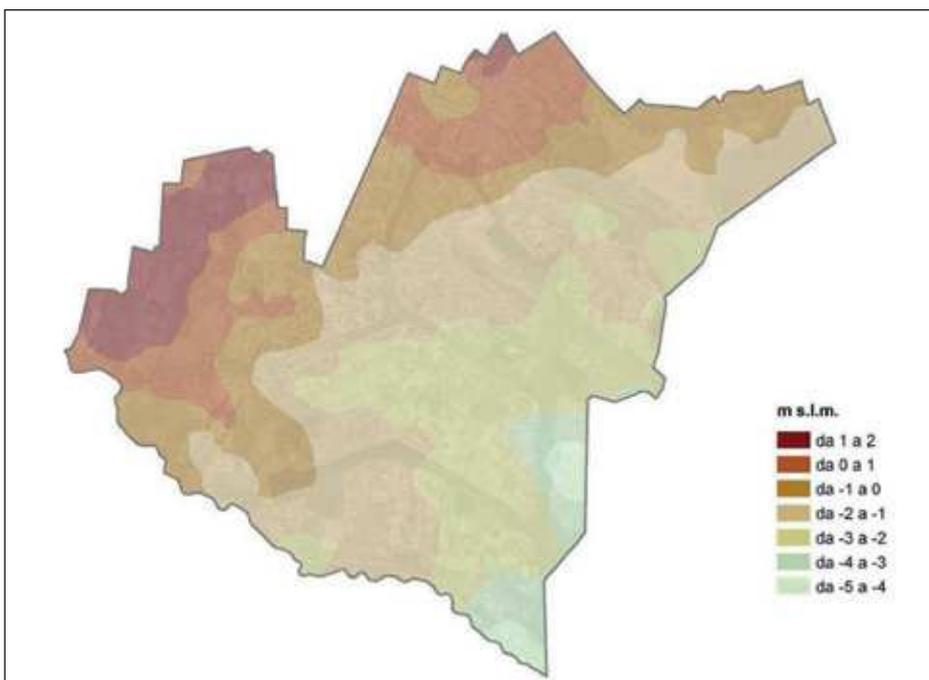


Fig. 12.26 - Cartografia della quota del caranto nel SIN di Porto Marghera (fonte: REGIONE VENETO & PROVINCIA DI VENEZIA, 2009; aggiornato).

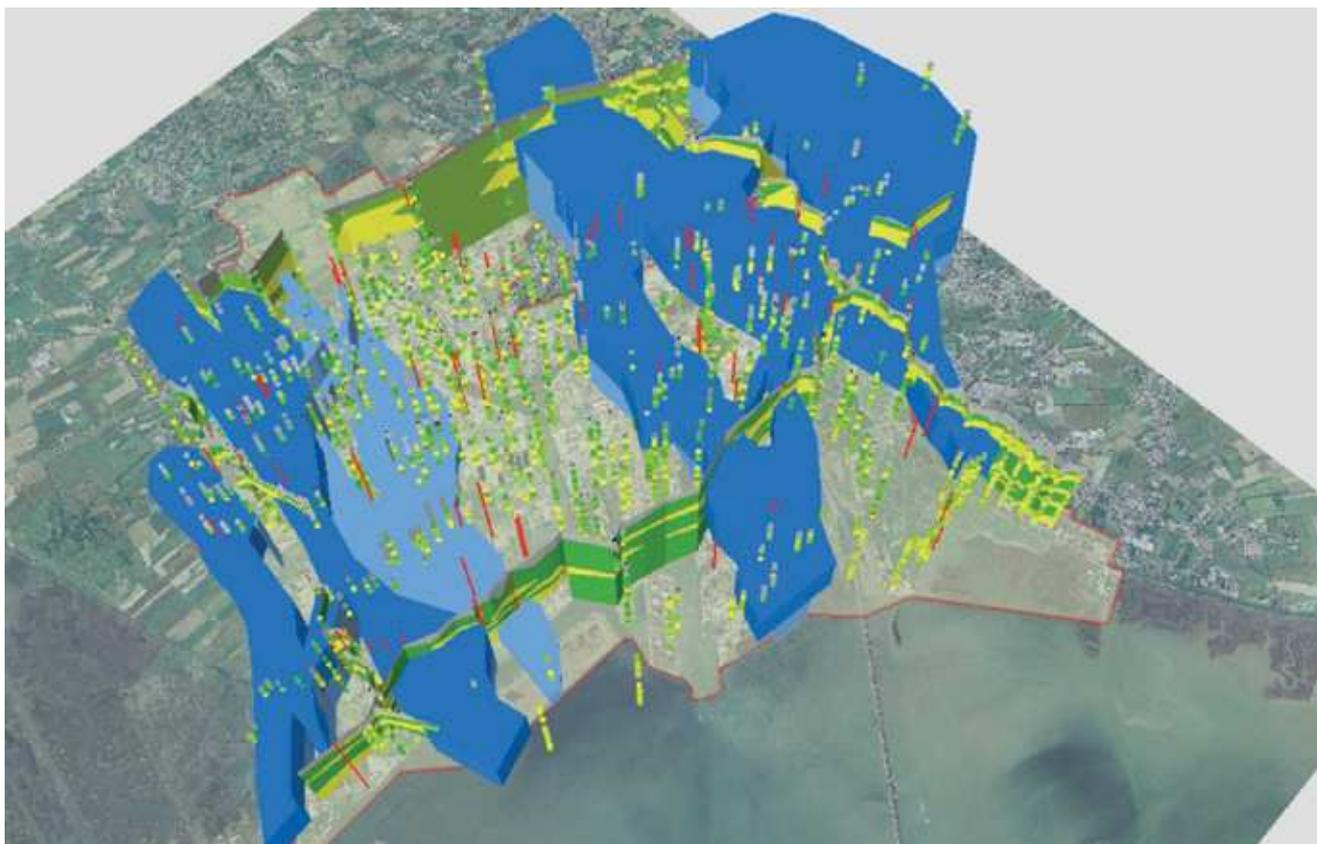


Fig. 12.27 - Schematizzazione tridimensionale della geologia dell'area di Porto Marghera con ubicazione dei punti di misura (fonte: REGIONE VENETO & PROVINCIA DI VENEZIA, 2009).

valori misurati è riportata in Fig. 12.28. La permeabilità varia all'interno di un *range* piuttosto ristretto (un ordine di grandezza) e il valore medio si aggira intorno a $3E-05$ m/s per tutti i corpi acquiferi³³.

L'elaborazione dei dati permette di risolvere alcune incongruenze riscontrate in elaborati precedenti che invece indicavano una forte variabilità della permeabilità (anche di 5 ordini di grandezza) all'interno del medesimo acquifero. Tale discrepanza è stata superata grazie alla corretta ricostruzione del quadro geologico che ha permesso di confrontare i valori di permeabilità effettivamente appartenenti allo stesso corpo acquifero.

La *piezometria* dei corpi acquiferi, nell'area di Marghera, è influenzata da innumerevoli fattori non solo di carattere antropico (marginamenti, dreni e perdite di rete tecnologica, rete superficiale di bonifica ecc.), ma anche naturale, come le maree e le precipitazioni.

La piezometria, in particolar modo, è influenzata dalla marea che fa invertire ciclicamente sia la direzione che il gradiente della falda (Fig. 12.29). Pertanto l'unico modo per studiare e analizzare un sistema così "disturbato" è quello di adoperare un monitoraggio in continuo. Nel caso specifico sono stati strumentati 92 piezometri con 23 sonde multiparametriche in quattro campagne successive, ciascuna relativa a un settore del sito. Dopo aver completato le quattro campagne di indagine, si è svolta una campagna di monitoraggio

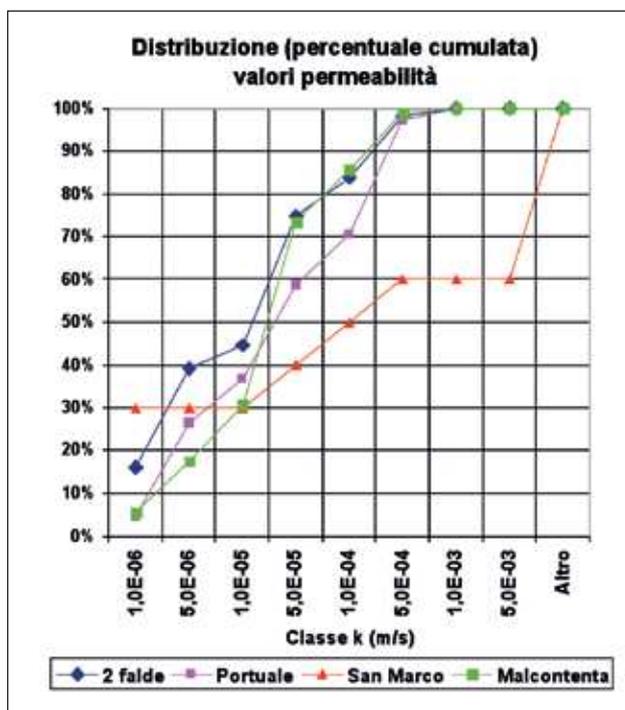


Fig. 12.28 - Valori di permeabilità per gli acquiferi individuati nell'area di Porto Marghera sulla base delle determinazioni su circa 400 piezometri. L'ubicazione prove è riportata nella Tav. 11 (fonte: REGIONE VENETO & PROVINCIA DI VENEZIA, 2009).

³³ Il corpo sabbioso più meridionale (Fusina) non è riportato in quanto non si dispone di un numero di misure sufficiente.

Corpo Acquifero	Permeabilità (m/s)
S. Marco	9,6E-05
Area Portuale	4,8E-05
2 Falde	2,7E-05
Malcontenta	2,6E-05
Fusina	n.d.

Tab. 12.7 - Valori medi di permeabilità dei corpi acquiferi.

in continuo impiegando i 23 piezometri maggiormente significativi distribuiti sull'intero territorio.

A esclusione dell'area di viale San Marco in Mestre, dove il corpo sabbioso è subsuperficiale, i monitoraggi hanno riguardato un acquifero confinato al di sotto del caranto. Le oscillazioni piezometriche quindi non rappresentano il movimento fisico della superficie della falda bensì una variazione di pressione.

Dai monitoraggi emerge chiaramente che il regime piezometrico è fortemente influenzato dalla marea nella maggior parte dei 92 piezometri strumentati. Tuttavia, nelle aree più lontane, si osserva l'effetto delle precipitazioni.

Si sono quindi individuati i piezometri maggiormente influenzati dall'effetto di marea rappresentando, con

opportune elaborazioni grafiche, il grado di smorzamento dell'onda di pressione per ogni singolo piezometro (Fig. 12.30).

Da tali elaborazioni si evidenzia che lo smorzamento è minore laddove il piezometro intercetta un livello in grado di trasmettere in modo più efficiente l'onda di pressione. Al contrario, quando vengono intersecate delle lenti argillose, lo smorzamento è considerevole. Sono stati valutati inoltre gli sfasamenti tra i picchi di marea e i picchi piezometrici.

Generalmente, per produrre le carte isopotenziometriche si interpolano le misure riferite allo stesso acquifero prese in un intervallo limitato di tempo. Nel caso dello studio idrogeologico di Porto Marghera però, poiché le oscillazioni di marea rilevate sui singoli piezometri sono spesso maggiori rispetto alle differenze di livello della falda misurate su ciascuno di essi e poiché ogni piezometro risponde all'effetto di marea con sfasamenti diversi, sarebbe stato poco significativo considerare misure contemporanee per la ricostruzione delle carte piezometriche e avrebbe prodotto degli errori non trascurabili. Infatti, se anche venissero prodotte centinaia di carte isopotenziometriche, otterremmo sempre direzioni e gradienti diversi gli uni dagli altri (e anche opposti) proprio a causa dell'effetto dell'onda di pressione sui singoli piezo-

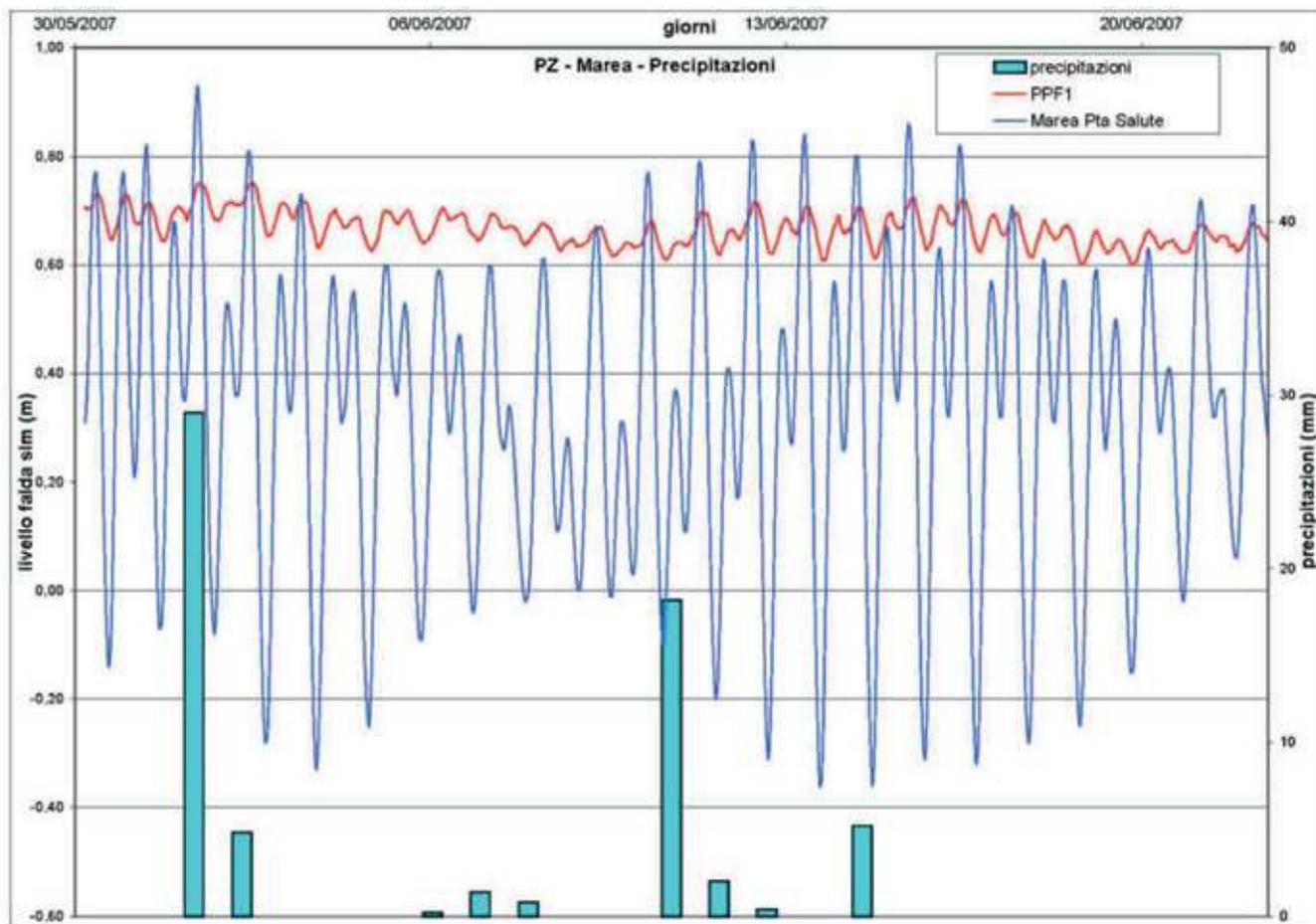


Fig. 12.29 - Tipico comportamento piezometrico negli acquiferi presenti nei primi 20 metri del sottosuolo di Porto Marghera. La piezometrica oscilla in modo sincrono o con uno sfasamento temporale rispetto alle oscillazioni della marea, mentre le quote piezometriche medie tendono a rimanere costanti nel tempo (fonte: REGIONE VENETO & PROVINCIA DI VENEZIA, 2009).

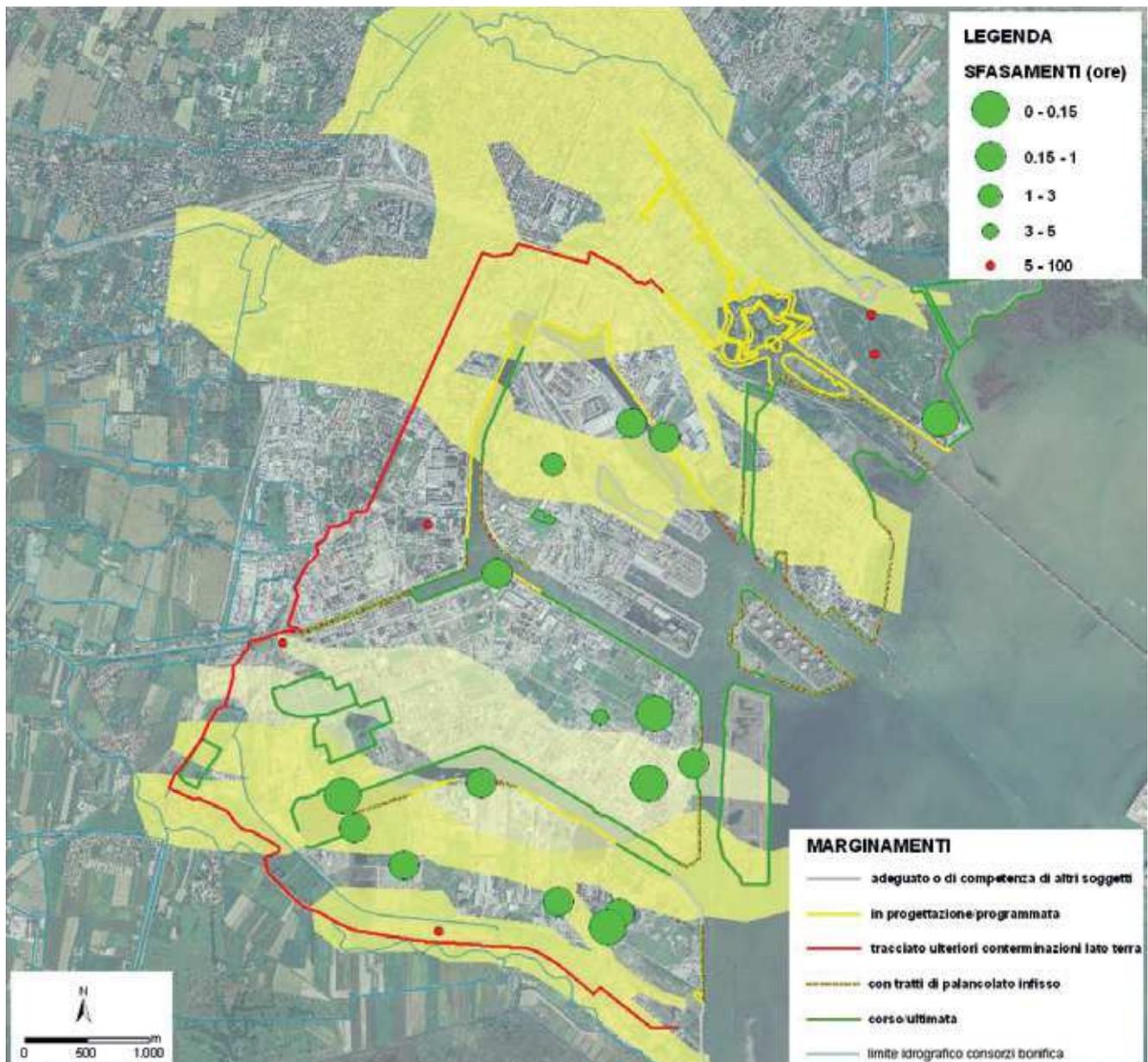


Fig. 12.30 - Rappresentazione degli sfasamenti rispetto alla marea per i piezometri filtrati al di sotto dei 10 m s.l.m. nell'area del SIN di Porto Marghera (fonte: REGIONE VENETO & PROVINCIA DI VENEZIA, 2009).

metri; in generale comunque si osserva che le quote piezometriche medie sono comprese tra il livello medio mare e +1,0 m s.l.m. e che i gradienti medi sono quasi nulli e comunque inferiori all'1‰. Infatti tutti gli studi esistenti su quest'area valutavano i flussi idrici sotterranei che attraversano i corpi acquiferi con portate estremamente modeste o quasi nulle, con ordini di grandezza del l/s per ciascun corpo acquifero. Tali dati permettono di comprendere come gli inquinanti nelle acque sotterranee, anche a distanza di decenni, rimangano localizzati a breve distanza dalla fonte di contaminazione.

Un esempio della complessità piezometrica viene riportato tramite un profilo che interessa la "penisola della chimica" (Fig. 12.31). Qui la piezometria appare molto complessa in quanto è attivo un sistema di emungimento delle falde che altera significativamen-

te il regime dell'acquifero confinato. Generalmente la quota della falda è mantenuta al di sotto di un determinato livello imposto, tuttavia in alcune aree, lontane dai punti di drenaggio, la falda rimane abbastanza elevata, sintomo dell'esistenza di fattori che tendono a mantenere e a innalzare la pressione dell'acquifero al di sotto del caranto.

In sintesi lo studio di quella che rappresenta l'area campione sugli acquiferi superficiali della provincia ha definito il seguente quadro:

- il quadro geologico prevede l'esistenza di quattro corpi sabbiosi, due superficiali nell'area a nord tra loro interconnessi e due maggiormente profondi nell'area meridionale intercomunicanti; in corrispondenza del Nuovo Petrolchimico e in un limitato settore sul margine est della penisola di Fusina, si individua un sistema a doppia falda confinata. I corpi sabbiosi

- settentrionali e meridionali sono separati da una fascia centrale, allungata in senso E-O, pressoché impermeabile e con sedimentazione fine;
- la permeabilità media rilevata in corrispondenza dei quattro corpi acquiferi è di $3E-05$ m/s;
- i livelli piezometrici medi si pongono tra 0,0 m e 1,0 m s.l.m.;
- i sistemi di drenaggio attivi influenzano pesantemente il regime della falda e ne controllano efficacemente la piezometria;

- l'andamento piezometrico nell'area centrale del SIN è governato essenzialmente dalle maree;
- nelle aree a monte, la piezometria è influenzata anche da altri fattori e, in modo particolare, dalle precipitazioni;
- il gradiente è spesso inferiore dell'1‰ e varia continuamente in direzione e valore; esso altera i flussi che tendono a essere molto bassi se non nulli, e comunque molto variabili nel tempo e nello spazio.

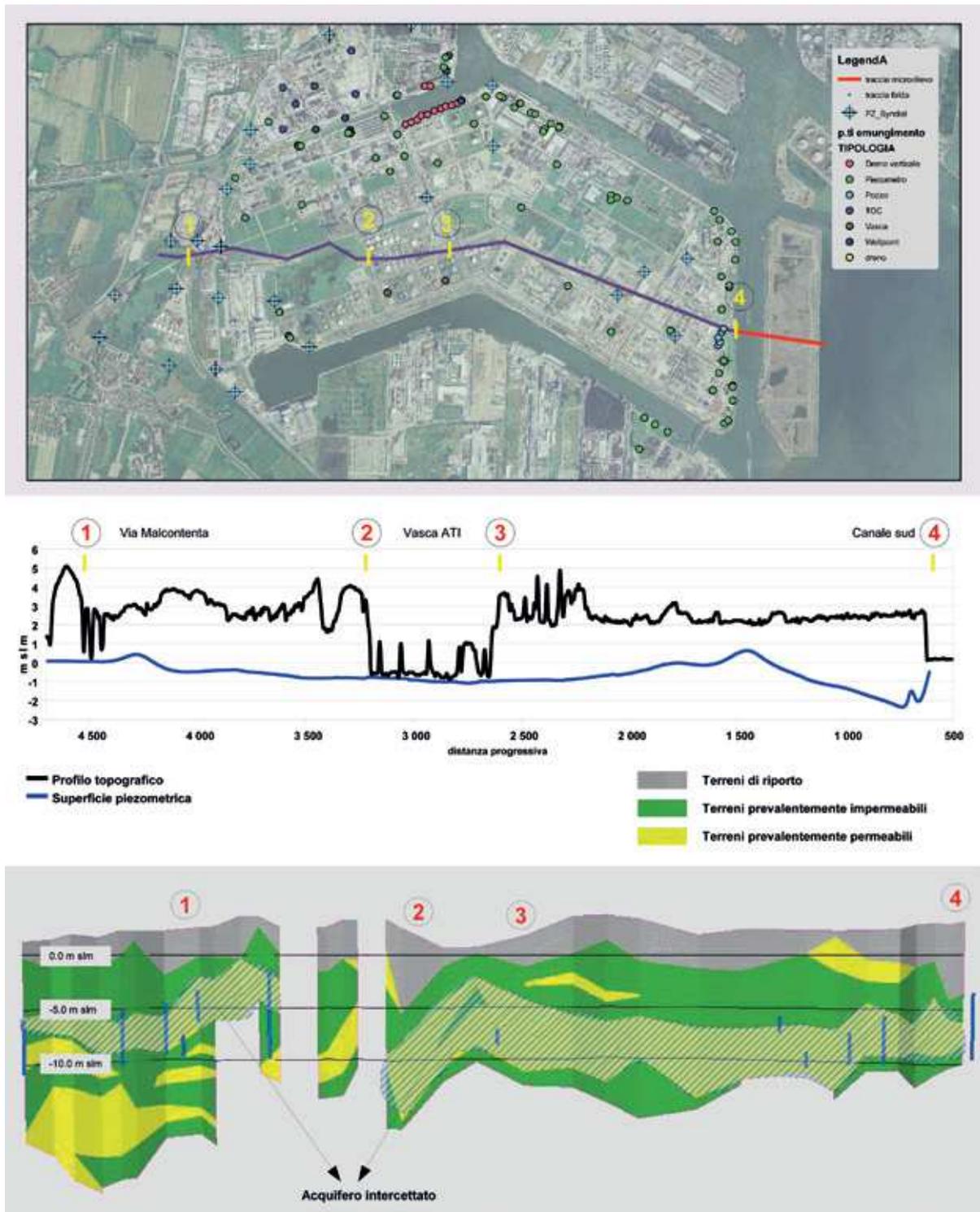


Fig. 12.31 - Piezometrica media lungo un profilo con direzione O-E nell'area di Porto Marghera (fonte: REGIONE VENETO & PROVINCIA DI VENEZIA, 2009).

RETE DI MONITORAGGIO DELLE ACQUE SOTTERRANEE IN PROVINCIA DI VENEZIA

Pietro Zangheri³⁴, Marina Aurighi³⁵

Tra le varie iniziative del Servizio Geologico della Provincia di Venezia nel campo idrogeologico vi è stato anche il progetto "Rete di monitoraggio delle acque sotterranee in provincia di Venezia"; iniziato nel 1997 è stato pubblicato in CD-Rom nel 2001. Infatti, la predisposizione di una efficiente rete di monitoraggio³⁶ delle acque sotterranee costituisce la base informativa per la gestione delle acque sotterranee stesse.

Il progetto, perseguendo fini comuni con un'analogia iniziativa curata dalla Regione Veneto - Dipartimento per l'Ecologia e la Tutela dell'Ambiente e finalizzata al monitoraggio idrogeologico degli acquiferi della Pianura Veneta, è stato realizzato, sulla base di quanto previsto da un apposito protocollo d'intesa del 1997, in collaborazione anche con altri Enti (Genio Civile, CNR, ULSS) oltre che con la Regione stessa.

Con l'istituzione dell'Agenzia Regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale del Veneto (ARPAV) importanti competenze in materia di monitoraggi ambientali sono state affidate a questo ente, e in particolare le attività di monitoraggio delle acque superficiali e sotterranee; a tal scopo la Provincia ha trasmesso ad ARPAV, a conclusione del progetto, tutti i dati raccolti in quanto utili per il proseguimento dei monitoraggi, che quindi non sono stati più proseguiti dalla Provincia.

Il progetto "Rete di monitoraggio delle acque sotterranee in provincia di Venezia" è consultabile sul sito della Provincia <http://www.difesasuolo.provincia.venezia.it> (Pubblicazioni), mentre la sua prosecuzione con ampliamento all'intero territorio regionale si trova sul sito dell'ARPAV www.arpa.veneto.it (Acque sotterranee).

Il progetto della Provincia con la Regione è iniziato con la fase documentale, da cui era risultato che:

- la provincia di Venezia non era mai stata interessata da reti di monitoraggio qualitative dedicate, mentre era in parte compresa in preesistenti reti quantitative;
- esistevano dati preesistenti, seppur limitati ad alcune aree, per quanto riguarda la piezometria delle falde;
- la qualità delle falde era scarsamente nota, anche se esistevano numerose analisi chimiche, però disuniformi nel metodo, nei tempi di realizzazione e nei criteri di campionamento;
- in alcune aree della provincia (comuni di Scorzé e Gruaro) erano presenti alcuni importanti punti di captazione di acquedotti dove venivano periodicamente effettuati controlli idrochimici;

- molti pozzi compresi in preesistenti reti di monitoraggio erano caratterizzati in modo lacunoso e, più in generale, riguardo la stragrande maggioranza di pozzi esistenti non erano reperibili informazioni basilari quali la stratigrafia e la posizione dei filtri.

Nella realizzazione del progetto "Rete di monitoraggio delle acque sotterranee" si è dovuto tener conto di alcune problematiche specifiche, legate alla particolare struttura geologica della provincia di Venezia, alle caratteristiche costruttive dei pozzi esistenti e agli usi delle acque.

In particolare:

- 1) nelle aree in cui i pozzi sono a erogazione sponanea, si ha la diffusa abitudine di lasciare i pozzi a erogazione continua: ciò sta comportando una progressiva diminuzione della quota piezometrica delle falde;
- 2) negli ultimi anni, nell'area della risorsa termale, sono proliferati pozzi profondi (500-600 m) che, oltre a problemi di tipo amministrativo (irregolarità e/o abusivismo degli approvvigionamenti), comportano una serie di rischi ambientali legati alla depressurizzazione degli acquiferi;
- 3) vi è una diffusa presenza di falde che, per cause naturali, risultano non potabili per eccesso di ferro e ammoniaca, a cui possono essere associati altri metalli tra cui l'arsenico (acque che, secondo il previgente D.Lgs. 152/99, vanno classificate in "classe 0 - stato naturale particolare");
- 4) sono diffusi gli approvvigionamenti idrici autonomi a scopo potabile (aree non servite da acquedotto o causa mancato allacciamento da parte dei privati, pure in presenza di un'adiacente rete acquedottistica);
- 5) la struttura idrogeologica è composta da una serie di falde confinate sovrapposte: in alcune aree, infatti, si hanno dieci falde nei primi 600 m di sottosuolo. Un corretto monitoraggio in queste condizioni dovrebbe prevedere la presenza di una rete per ciascun acquifero e considerare che possono esistere interconnessioni tra i vari acquiferi, attraverso livelli semipermeabili e soprattutto per la diffusissima presenza di pozzi emungenti falde diverse o male o affatto cemen-

³⁴ Geologo - Studio Tecnico Zangheri & Basso - Padova - www.progettazioneambientale.it

³⁵ Regione Veneto - Servizio Tutela Acque.

³⁶ Col termine "monitoraggio" si definisce <l'attività standardizzata di misura e osservazione dell'ambiente> (UNESCO, 1978).

tati in presenza di *acquiclide*. Di fatto, però, ciò risulta complesso; si è pertanto adottato il criterio di privilegiare il controllo degli acquiferi maggiormente significativi sulla base dei risultati della “*Indagine idrogeologica del territorio provinciale di Venezia*”;

- 6) si registra la presenza di numerosi pozzi privi di stratigrafia; tale elemento non solo riduce drasticamente il numero di pozzi ove il monitoraggio è realizzabile in modo ottimale, ma rende difficile l'esecuzione di profili idrogeologici, fondamentali per l'interpretazione dei dati raccolti;
- 7) vi è in generale perdita di efficienza dei pozzi che emungono acquiferi in pressione; nei pozzi artesiani, in particolare quando non siano stati correttamente costruiti, con il passare del tempo si possono verificare fenomeni di intasamento e/o di incrostazione dei filtri che provocano la diminuzione dell'efficienza;
- 8) sull'intero territorio provinciale è presente una falda freatica il cui monitoraggio necessita di una base di conoscenze geologiche che all'epoca non erano disponibili (attualmente in fase di acquisizione grazie al “progetto IDRO” di cui alla specifica scheda in questo stesso capitolo).

Da quanto esposto ne consegue che la “soluzione ottimale” sarebbe stata quella di costruire appositi pozzi di monitoraggio, sia per la falda freatica che per le falde confinate. Ciò però avrebbe comportato costi rilevanti e, anche alla luce della sopraggiunta competenza all'ARPAV, la Provincia ha deciso di non finanziare l'esecuzione di tali pozzi, demandando all'ARPAV la scelta se effettuare tale eventuale incombenza. Di conseguenza la rete si è basata su una selezione accurata di pozzi esistenti.

Riguardo la densità dei punti di controllo va rilevato che questi non sono stati selezionati secondo maglie regolari, ma in modo ragionato sulla base della struttura idrogeologica.

Monitoraggio quantitativo

Il gruppo di lavoro sul monitoraggio delle acque sotterranee, appositamente istituito nell'ambito del progetto e comprendente rappresentanti di diversi enti, aveva stabilito che le misure quantitative sull'intera rete dovevano avvenire almeno con cadenza trimestrale a partire da fine gennaio di ogni anno. Ciò è risultato in linea con quanto poi stabilito dal D.Lgs. 152/99 (che normava anche la materia dei monitoraggi). Era stata anche indicata l'importanza di avere un maggior dettaglio in alcuni punti significativi, strumentando alcuni pozzi con misuratori di livello (e, possibilmente, altri parametri) in continuo.

Monitoraggio qualitativo

Il citato gruppo di lavoro aveva stabilito che andassero monitorati i seguenti parametri chimici: pH, Temperatura (°C), Organo alogenati (µg/l), Conduttività (µS/cm), Erbicidi (µg/l), Cloruri (mg/l), Solfati (mg/l), Calcio (mg/l), Magnesio (mg/l), Sodio (mg/l), Potassio (mg/l), Durezza totale (°F), Nitrati (mg/l), Ammoniaca (mg/l), Ferro (mg/l), Manganese (µg/l), Arsenico (µg/l), Cadmio (µg/l), Cromo esavalente (µg/l), Cromo totale (µg/l), Piombo (µg/l), Alluminio (mg/l), Boro (µg/l), Cianuri (µg/l), Fluoruri (µg/l), Fosfati (µg/l), Nichel (µg/l), Nitriti (mg/l), Rame (µg/l), Zinco (µg/l), Selenio (µg/l), Mercurio (µg/l), Antimonio (µg/l), Alcalinità (mg/l).

Le campagne di campionamento previste sono state a cadenza semestrale in coincidenza con due di quelle della rete quantitativa (aprile e ottobre).

Struttura della rete di monitoraggio

La rete di monitoraggio provinciale era stata costituita da oltre ottanta pozzi, dodici dei quali interessavano la falda freatica e venivano utilizzati per sole misure di livello; i rimanenti punti, che captavano il sistema di falde in pressione, erano generalmente utilizzati sia per la misurazione dei livelli di falda, che per il controllo di qualità.

Nella Fig. 12.33 sono indicate le ubicazioni dei pozzi facenti parte della rete di monitoraggio provinciale.

I dati relativi ai pozzi di monitoraggio sia della rete quantitativa che di quella qualitativa (che nella maggior parte dei casi coincidono) sono stati riportati per l'archiviazione in apposite schede informatizzate.

Considerazioni conclusive

Il progetto “Rete di monitoraggio delle acque sotterranee” ha permesso di acquisire una base di informazioni idrogeologiche e di iniziare sistematici monitoraggi, indispensabili a una corretta gestione della risorsa “acqua sotterranea”.

Ciò è di particolare importanza per la provincia di Venezia, area dove, da una parte, la ricchezza delle risorse idriche sotterranee è il presupposto per lo sviluppo di importanti attività economiche e, dall'altra, si hanno reali rischi di sovrasfruttamento degli acquiferi che, si ricorda, potrebbero comportare importanti effetti sull'equilibrio idrogeologico (subsidenza, cuneo salino, depauperamento quantitativo).

Il lavoro è stato possibile grazie alla collaborazione di più Enti, elemento indispensabile per l'efficacia delle azioni, dato il frazionamento delle competenze sulle risorse idriche.

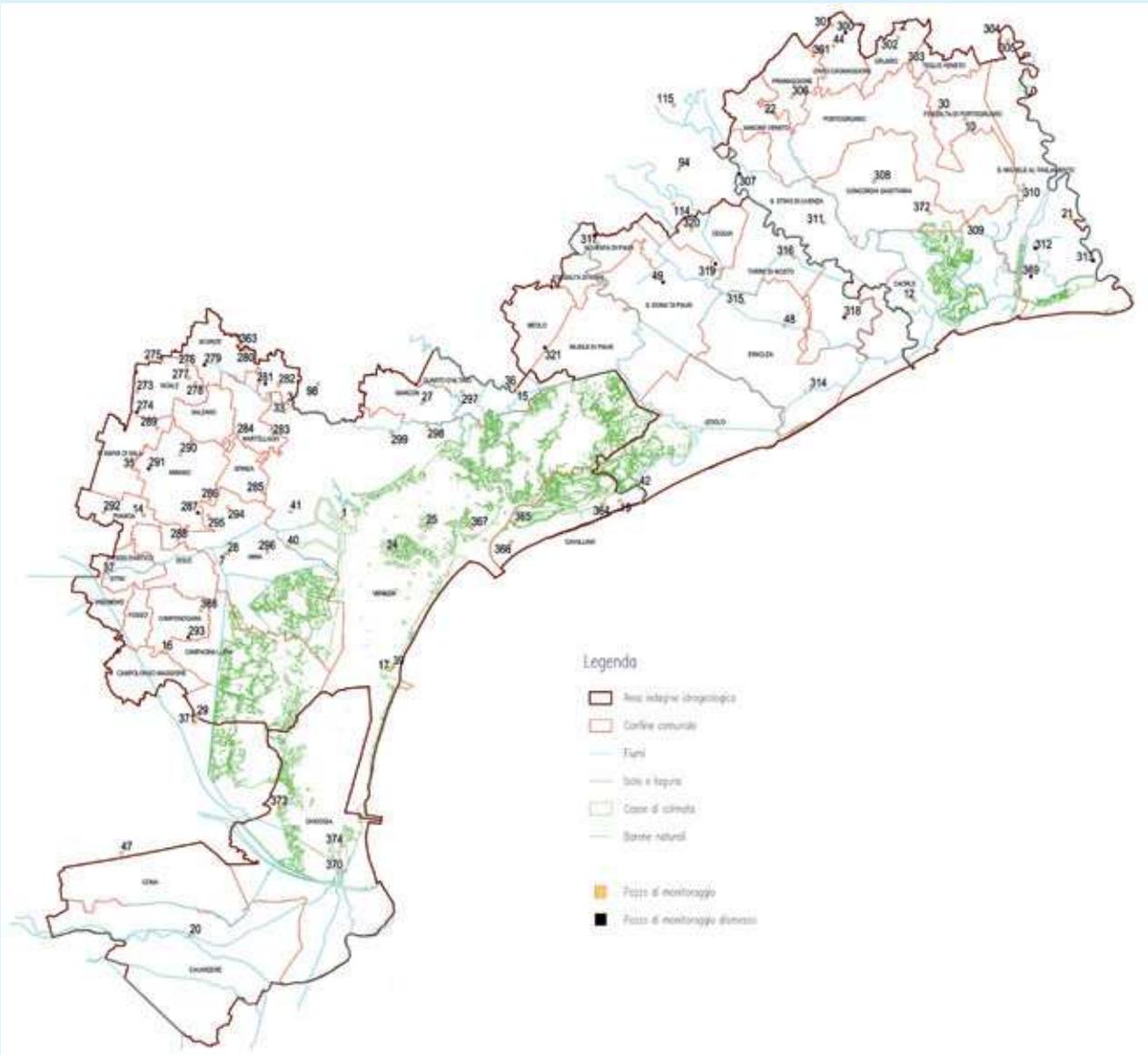


Fig. 12.33 - Rete di monitoraggio delle acque sotterranee.

INDAGINE IDROGEOLOGICA SULLA PRIMA FALDA IDRICA SOTTERRANEA DEL PORTOGRUARESE

Andrea Vitturi - Provincia di Venezia. Servizio Geologico e Difesa del Suolo

Nell'ambito degli studi agronomici realizzati per la valorizzazione dei vigneti a d.o.c di Lison Pramaggiore, nel portogruarese, è stata realizzata nel 1985-88 un'indagine sulla prima falda idrica sotterranea di tale territorio (genericamente chiamata "falda freatica"). I risultati delle indagini sono stati pubblicati nel 1988 in "Carta nutrizionale e tematico-vocazionale della zona a d.o.c. di Lison-Pramaggiore (territori provinciali di Venezia, Pordenone e Treviso"; autori: MARIO FREGONI, LUIGI BAVARESCO, RENZO GAIATTO, ANDREA VITTURI).

Le misure sulla prima falda fatte per tale studio sono le uniche realizzate dalla Provincia su un'area assai estesa, e quindi si ritiene che quest'unico esempio meriti di essere ricordato, ancorché pionieristico. Si rinvia allo stralcio della pubblicazione per la sua parte geologica, presente nel sito *web* del Servizio Geologico della Provincia di Venezia³⁷, per approfondimenti e per i dati relativi alle misure della falda.

L'indagine è consistita in:

- 1) ricerca di dati bibliografici esistenti, loro acquisizione e verifica;
- 2) censimento (riportato su apposite schede) di n° 287 pozzi esistenti relativi alla prima falda (pozzi a largo diametro profondi pochi metri);
- 3) esecuzione di sei campagne di misura, di cui due in fase di magra e quattro in fase di piena

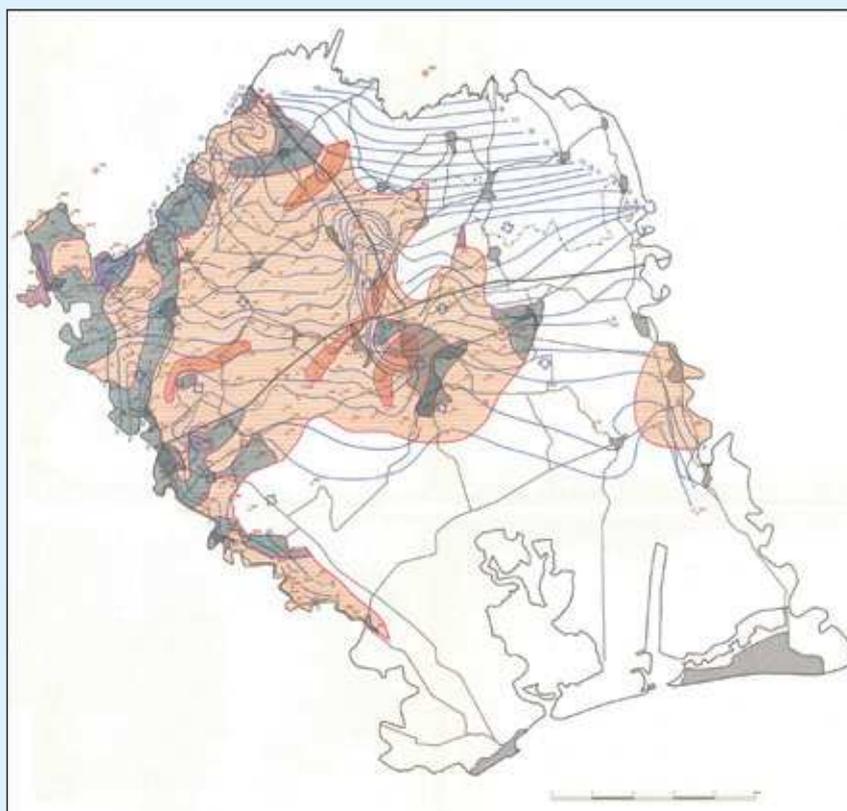
(3÷26.09.85; 4÷14.02.86; 8÷31.07.86; 9÷11.02.87; 21÷30.03.87; 20.06÷8.07.88);

- 4) elenco dei dati misurati, riportandoli su apposite schede monografiche, e loro elaborazione, con stesura delle relative carte della profondità della falda dal piano campagna (p.c.) e delle isofreatiche;
- 5) elaborazione dei dati bibliografici esistenti con stesura di una carta indicante, in via preliminare, il tipo di falda esistente e di una serie di grafici illustranti le oscillazioni della falda nel tempo relativamente a due stazioni del Magistrato alle Acque di Venezia;
- 6) stesura della relazione tecnica.

In questa scheda viene riportata nella Fig. 12.34 la "Carta della profondità della falda freatica dal piano campagna in fase di piena (misure del 21÷30.03.1987) e relative isofreatiche, con indicazione delle principali direzioni del deflusso freatico" (scala 1:100.000 nell'originale).

In quanto all'epoca si trattava di un aspetto metodologico innovativo, si riporta in questa scheda principalmente una serie di indicazioni che ponevano in risalto i limiti del metodo stesso, in quanto essi non venivano

³⁷ www.difesasuolo.provincia.venezia.it.



LEGENDA

- Limiti di provincia
 - Strade statali e provinciali
 - Autostrade
 - Centri abitati
 - Pozzo freatico di misura, con numero d'ordine
 - Pozzo freatico in osservazione periodica, con numero d'ordine
 - Linea isofreatica (m s.l.m.)
 - Principali direzioni di deflusso freatico
- Profondità della falda freatica dal piano campagna:*
- da 0,00 a 0,75 m
 - da 0,76 a 1,50 m
 - da 1,51 a 2,25 m
 - da 2,26 a 3,00 m
 - da 3,01 a 3,75 m
 - oltre 3,75 m

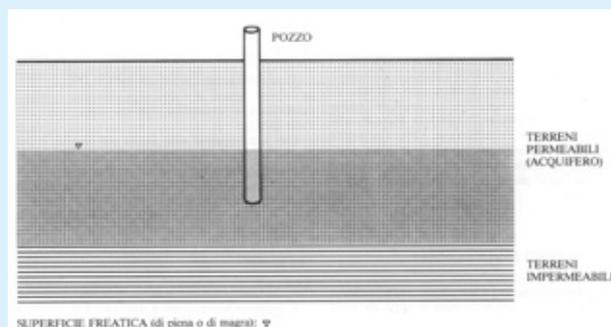
Fig. 12.34 - "Carta della profondità della falda freatica dal piano campagna in fase di piena (misure del 21÷30.03.1987) e relative isofreatiche, con indicazione delle principali direzioni del deflusso freatico" (scala 1:100.000 nell'originale).

considerati anche nell'ambito di studi di ben maggior importanza e con risorse (tecniche ed economiche) ben superiori all'indagine provinciale effettuata.

Per primo aspetto, basandosi sui risultati (allora recenti) dello "Studio geopedologico ed agronomico del territorio provinciale di Venezia, parte nord-orientale" (PROVINCIA DI VENEZIA, 1983) sono state dapprima cartografate le aree nelle quali la falda è spesso a pelo libero e quelle nelle quali è invece possibile (e spesso probabile) che sia in pressione, nonché le aree nelle quali è improprio parlare di acqua di falda trattandosi di terreni prevalentemente argillosi.

a) Falda freatica a pelo libero

La falda freatica è a pelo libero quando la sua superficie è libera di muoversi, e quindi la falda è alloggiata in terreni permeabili (per lo più sabbiosi) senza avere al suo tetto terreni impermeabili (per lo più argille) che ne ostacolano o impediscano le oscillazioni nel tempo. In questo caso, che viene schematizzato nella sottostante figura, le misure fatte corrispondono alla reale situazione della falda nel sottosuolo e quindi hanno piena validità.



b) Falda risaliente

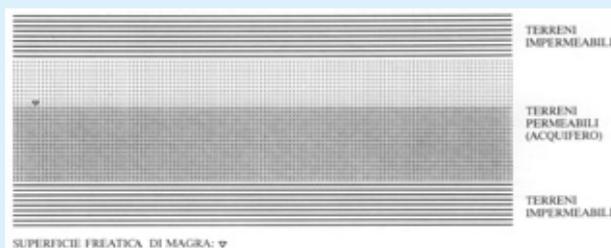
Diverso è il caso che si presenta quando la prima falda è debolmente in pressione; ciò si verifica quando essa, pur sempre alloggiata in terreni permeabili, è delimitata al suo tetto da un orizzonte impermeabile. Qualora questo impedisca il libero innalzarsi della superficie piezometrica (e ciò può avvenire anche nella sola fase di piena della falda), si originano delle sottopressioni alla base dell'orizzonte impermeabile che, di norma, però, non hanno la forza di sifonare (cioè perforare) tale orizzonte, per cui la falda resta strettamente confinata nello strato acquifero.

Se invece per un qualsiasi motivo, per esempio nel corso della realizzazione di un pozzo idrico, si perfora lo strato impermeabile raggiungendo l'acquifero, la falda in tal punto potrà raggiungere il suo equilibrio piezometrico.

Nelle figure successive si schematizza quanto esposto.

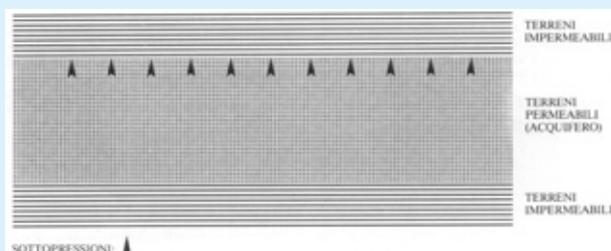
- Fase di magra

In questo caso non vi è nessuna sostanziale modifi-

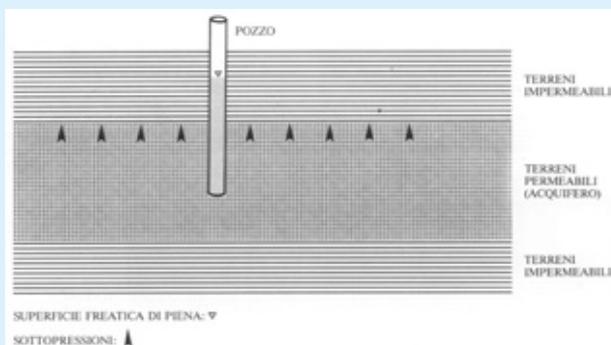


ca (se non per l'alimentazione della falda) rispetto a quanto descritto per la falda a pelo libero. Da notare che anche in questo caso (come per la falda libera) si ha l'esistenza di una frangia d'acqua sovrastante la superficie freatica dovuta alla risalita capillare (che dipende dalle caratteristiche granulometriche del materiale costituente lo strato acquifero).

- Fase di piena



Se si perfora un pozzo la situazione naturale viene modificata come si vede nella figura seguente.



Risulta quindi che la superficie piezometrica, che è quella misurata nei pozzi nel corso dell'indagine, è a profondità dal piano campagna inferiore rispetto a quella reale, dalla quale potrebbero cioè attingere gli apparati radicali delle piante.

Infine, nello studio eseguito era stato anche segnalato un altro limite della metodologia adottata; è infatti possibile effettuare misure solo nelle zone dove esistono pozzi di prima falda in numero sufficiente e adeguatamente distribuiti. Dove non ci sono tali caratteristiche è necessario, per avere sufficienti indicazioni, eseguire successive apposite indagini, di norma ben più costose in quanto presuppongono l'esecuzione di sondaggi con installazione di piezometri.

Nonostante le limitazioni al metodo prima indicate, le conoscenze idrogeologiche acquisite sono state utili ai fini delle finalità di zonizzazione vitivinicola del progetto.

TENDENZE EVOLUTIVE NELLA RICARICA DEGLI ACQUIFERI SOTTERRANEI NELL'AREA DI SCORZÈ



A cura di Enrico Conchetto - AATO "Laguna di Venezia"

(Tratto dal lavoro, inedito, realizzato nell'ambito del *Progetto per la definizione dei tempi di transito delle acque sotterranee e dei bacini di alimentazione delle falde nell'Ambito Territoriale Ottimale "Laguna di Venezia"* condotto dall'Autorità d'Ambito Territoriale Ottimale "Laguna di Venezia" in collaborazione con l'Università Paul Cézanne di Marsiglia. Hanno partecipato al progetto: Enrico Conchetto (AATO Laguna di Venezia), Adriano Mayer, Christelle Claude, Lucilla Benedetti, Hélène Miche, Jean Paul Ambrosi, Christine Vallet-Coulomb (CEREGE Aix-en-Provence), Jürgen Sültenfuss (Università di Brema), Roland Purtschert (Università di Berna), Yves Travi, Milanka Babic (Università di Avignone e Paesi Voclusiani), Corinne La Gal La Salle, Romain Rebeix, Véronique Lavastre (Università di Nîmes), Olivier Radkovitch (Università Paul Cézanne, Aix-Marseille III).

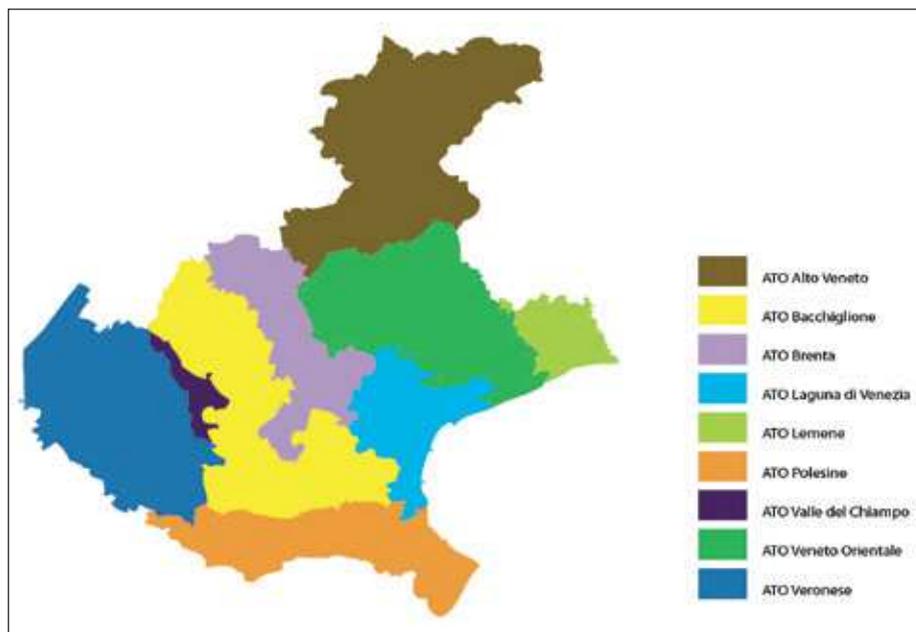
La legislazione che disciplina il settore idrico in Italia (D.Lgs. n° 152/2006 che sostituisce, pur mantenendone i principi, la L. 36/1994, detta "Legge Galli") dispone che la gestione del Servizio Idrico avvenga a livello integrato, abbracciando l'intero ciclo dell'acqua (captazione, adduzione e distribuzione idropotabile, raccolta e convogliamento dei reflui fognari e infine depurazione e scarico in corpo idrico). La legge Galli ha, infatti, avviato un processo di superamento di una situazione di estrema frammentarietà della gestione del servizio che impediva di servire ampi bacini di utenza, applicando una gestione di tipo industriale con la razionalizzazione del settore e recupero di efficienza e responsabilità. A seguito dell'entrata in vigore della Legge Galli (L. 36/94), la L.R. 5/98 del Veneto ha individuato e definito l'estensione degli Ambiti Territoriali Ottimali - ATO. L'Autorità d'Ambito Territoriale Ottimale "Laguna di Venezia" svolge nel territorio di competenza le funzioni di pianificazione, governo e controllo dei servizi di acquedotto, fognatura e depurazione ed è stata costituita il 29 luglio 1998 nella forma di Convenzione tra enti locali. Il territorio di competenza comprende 25 comuni, dei quali 20 ricadenti nella provincia di Venezia e 5 nella provincia di Treviso.

Le AATO, nello scenario delle frammentarie competenze che rivestono le pubbliche istituzioni relativamente alla matrice ambientale "acqua", assumono un ruolo fondamentale nella difesa della risorsa idrica che viene prelevata ai fini dell'immissione in rete acquedottistica, in quanto rappresenta la materia prima che alimenta l'intero ciclo integrato dell'acqua. Negli ultimi decenni, attraverso numerosi dati e studi scientifici, è stata registrata una significativa e generalizzata diminuzione della pressione nelle falde freatiche e artesiane del Veneto, che in generale è rivelatrice di una progressiva riduzione della risorsa idrica disponibile. L'abbassamento della pressione può essere generato da un aumento delle portate complessive di emungimento, ma anche da una diminuzione della capacità di ricarica degli acquiferi stessi, dovuta ad esempio alla recente riduzione delle precipitazioni meteoriche complessive nei bacini versanti oppure a interventi idraulici antropici.

In sintesi, le cause possono essere così riassunte:

- a) aumento delle portate complessive di emungimento, con situazioni di competizione tra più soggetti nell'utilizzo della risorsa;
- b) diminuzione della capacità di ricarica degli acquiferi stessi per:

1. estremizzazione degli eventi meteorici (incapacità di ricarica);
2. riduzione complessiva delle precipitazioni nei bacini versanti;
3. interventi idraulici sui fiumi e corsi d'acqua in generale;
4. urbanizzazione;
5. modalità di utilizzo delle acque in agricoltura.



Indipendentemente dalle cause che stanno all'origine del problema, l'Autorità d'Ambito Territoriale Ottimale "Laguna di Venezia" ha dovuto constatare che **il sistema idrogeologico utilizzato anche per il prelievo della risorsa idropotabile si sta impoverendo.**

L'AATO Laguna di Venezia ripone particolare attenzione alle problematiche legate allo stato di salute della risorsa idrica sotterranea in quanto, nell'ambito delle proprie funzioni, deve verificare, su periodo trentennale, che la richiesta idrica da parte dell'utenza, comprensiva delle previsioni del suo sviluppo demografico, possa essere soddisfatta dall'approvvigionamento acquedottistico. Attualmente il prelievo si basa per la maggior parte sull'estrazione di acqua di falda artesiane proveniente dagli acquiferi confinati di media pianura, situati a profondità comprese tra -30 e -340 metri dal piano campagna.

La verifica della rispondenza tra la domanda idrica e l'offerta (disponibilità naturale della risorsa), che garantisce la sostenibilità del Servizio Idrico Integrato, è possibile soltanto se si è in grado di rispondere a una serie di quesiti:

- Quanta acqua è presente nel sottosuolo?
- Quanta acqua entra nel sistema acquifero?
- Quali sono gli acquiferi più produttivi?
- Quanta acqua prelevano i privati?
- Quanta acqua è disponibile per il prelievo acquedottistico?
- Da dove arriva l'acqua che beviamo?
- Quanta risorsa è rinnovabile?
- Riesce il sistema acquifero a rispondere alla crescente richiesta d'acqua?

L'effetto del progressivo impoverimento del patrimonio idrico sotterraneo nel Veneto e del suo progressivo degrado qualitativo (serbatoio che per lo più alimenta gli acquedotti di pianura) negli ultimi decenni è stato fronteggiato, dai gestori degli acquedotti, con una progressiva ricerca di risorse idropotabili sempre più profonde. Questa è una soluzione che però non porta molto lontano perché il serbatoio da cui traggono alimentazione tutte le falde utilizzate per scopo idropotabile è unico e alimentato soltanto in una porzione della pianura.

L'AATO "Laguna di Venezia", da parte sua, per trovare una soluzione alla situazione di criticità che si protrae da lunghi anni e per trovare le risposte ai quesiti sopra citati, ha avviato nel 2005 un programma di approfondimento delle conoscenze sulle caratteristiche del sottosuolo che, unitamente alla caratterizzazione idrogeologica degli acquiferi individuati, ha fornito un modello geologico e idrogeologico dettagliato di riferimento. Tale percorso ha portato anche alla definizione del **bilancio idrogeologico** e all'acquisizione di tutte le conoscenze necessarie all'attuazione di una corretta politica di gestione ecosostenibile del patrimonio idrico sotterraneo nel proprio territorio di competenza. Tuttavia, non seguendo l'acqua i confini amministrativi si rende necessario, in un quadro di generale sofferenza dello stato di salute del sistema idrogeologico utilizzato anche dall'AATO per scopi idropotabili, individuare e chiarire a scala regionale i processi in atto nel sistema, in modo da ottenere una chiave di lettura chiara e completa della sua tendenza evolutiva.

Perciò, oltre all'analisi strutturale e quantitativa del sistema idrogeologico sotterraneo che hanno fornito buona parte delle risposte ai quesiti su elencati, l'AATO Laguna di Venezia ha avviato uno studio volto a individuare, in tutta l'alta e media pianura veneta tra i fiumi Brenta e Piave, i processi che intervengono nel rinnovamento della risorsa. Per una corretta comprensione di tali processi è importante tenere in considerazione oltre ai parametri quantitativi volumetrici anche il tempo di rinnovo, questione che si è tradotta nella valutazione della durata del processo di filtrazione dell'acqua nel sottosuolo dopo l'abbandono del contatto con l'atmosfera; tale intervallo di tempo corrisponde convenzionalmente con l'**età dell'acqua** prelevata dal sottosuolo.

L'approccio a tale materia ha imposto da subito la necessità di affrontare due tipologie di problematiche: una relativa al mescolamento delle acque provenienti da aree di alimentazione diverse; l'altra legata invece al mescolamento di acque provenienti dalla medesima area di alimentazione, ma di età diversa.

Ecco spiegato il motivo per cui nell'ambito del *Progetto per la definizione dei tempi di transito delle acque sotterranee e dei bacini di alimentazione delle falde nell'Ambito Territoriale Ottimale "Laguna di Venezia"* sono state adottate numerose tipologie di determinazioni geochimiche e isotopiche. In particolare:

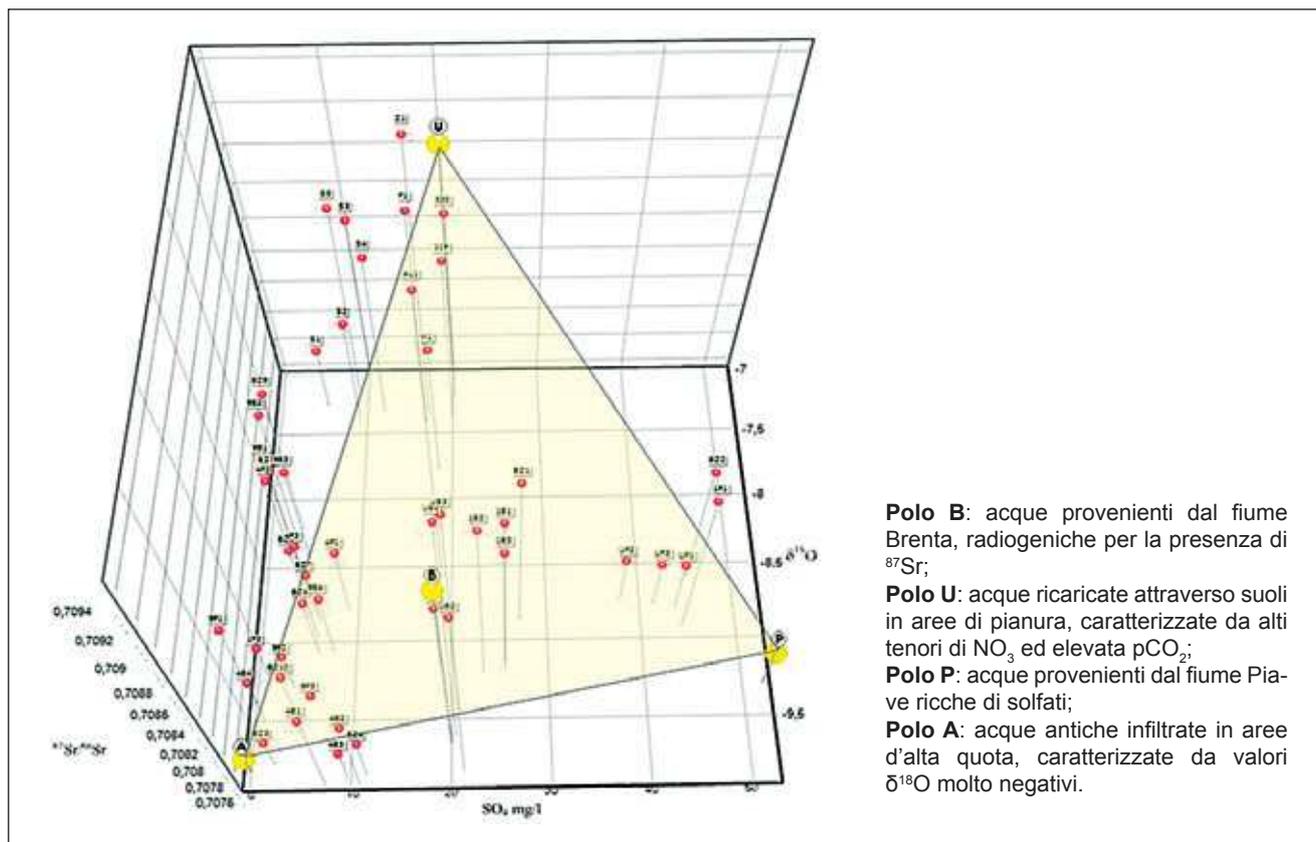
- 1) *parametri analizzati in campo*: EC, T, O₂, alcalinità, OX sat %, pH, eH;
- 2) *isotopi analizzati in laboratorio*: ³H, ³He, ⁴He, ²²Ne, ³⁹Ar, ³⁷Ar, ³⁶Cl, ⁸⁵Kr, ²²²Rn, ²²⁶Ra, ²²⁴Ra, ²²³Ra, $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$, ³⁴S, ¹⁴C, $\delta^{13}\text{C}$, ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr;
- 3) *anioni e cationi analizzati in laboratorio*: Ca²⁺, K⁺, Mg²⁺, Na⁺, Si⁴⁺, Al³⁺, Ba²⁺, Cu²⁺, Fe_{tot}, Mn²⁺, Sr²⁺, As, Sb, Cl⁻, SO₄²⁻, NO₃⁻, Fe²⁺, HCO₃⁻, F⁻, Br, tracce e ultra-tracce;
- 4) *sistemi cronometrici adottati*: ³H - ³He, ⁴He, ¹⁴C, ⁸⁵Kr, ³⁹Ar, SF₆, CFC12, CFC13, ³⁶Cl.

Distinzione delle acque sotterranee basata su SO₄²⁻, NO₃⁻ e isotopi stabili (O e Sr).

L'indagine, estesa al territorio compreso tra la fascia di media pianura a sud, la zona pedemontana a nord e i fiumi Brenta e Piave rispettivamente a ovest e ad est, ha permesso di individuare dal punto di vista geochimico e isotopico quattro poli estremi di mescolamento delle acque (Fig. 12.35).

Le concentrazioni di bicarbonati (pCO₂), solfati e nitrati e i rapporti isotopici $\delta^{18}\text{O}$ e ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr permettono una buona distinzione delle acque analizzate e delle relative zone di ricarica (Tab. 12.8). Una prima importante distinzione può essere fatta tra acque radiogeniche (elevato rapporto isotopico ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr) e acque non radiogeniche (basso rapporto isotopico ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr).

Le acque **radiogeniche** possono provenire dal fiume Brenta (tipo B) oppure da piogge e irrigazioni attraverso i suoli dell'alta pianura (tipo U). Tale caratteristica è dovuta alla presenza di ⁸⁷Sr radiogenico, ri-



Polo B: acque provenienti dal fiume Brenta, radiogeniche per la presenza di ^{87}Sr ;
Polo U: acque ricaricate attraverso suoli in aree di pianura, caratterizzate da alti tenori di NO_3 ed elevata $p\text{CO}_2$;
Polo P: acque provenienti dal fiume Piave ricche di solfati;
Polo A: acque antiche infiltrate in aree d'alta quota, caratterizzate da valori $\delta^{18}\text{O}$ molto negativi.

Fig. 12.35 - Rappresentazione dei poli estremi di mescolamento (*end member*) e dei vari termini intermedi riscontrati nelle acque sotterranee.

	RADIOGENICHE				NON RADIOGENICHE		
	B (Fiume Brenta)	U (acquifero indifferenziato)		UP	P (Fiume Piave)	A	
		vicino a B	più lontano da B	lontano da B e da P	Influenzato da P		
$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	ALTO	ALTO	ALTO	MEDIO-ALTO	BASSO	BASSO	BASSO
δNe	MOLTO BASSO	MOLTO ALTO	BASSO	MOLTO BASSO	BASSO	MOLTO BASSO	ALTO
$\delta^{18}\text{O}, \delta\text{D}$	BASSO	BASSO	BASSO	ALTO	ALTO	BASSO	MOLTO BASSO
$p\text{CO}_2 \text{ eq}$	BASSO	BASSO	MEDIO	MOLTO ALTO	ALTO	MEDIO	MOLTO BASSO
NO_3^-	BASSO	BASSO	MEDIO	MOLTO ALTO	ALTO	BASSO	MOLTO BASSO
SO_4^{2-}	MEDIO-BASSO	MEDIO-BASSO	MEDIO-BASSO	MEDIO-BASSO	MEDIO	ALTO	MOLTO BASSO

Tab. 12.8 - Schema di suddivisione delle acque basate su alcune tra le principali caratteristiche geochimiche e isotopiche.

spettivamente, nei graniti di Cima d'Asta e nei calcari marini del Miocene affioranti nelle colline asolane. Le rocce metamorfiche (aureole di contatto) e plutoniche del complesso di Cima d'Asta contengono l'isotopo radioattivo naturale ^{87}Rb che decade con tempo di dimezzamento di circa cinquanta miliardi d'anni in ^{87}Sr , stabile. Lo Sr^{2+} lisciviato dalle rocce di Cima d'Asta ha dunque, molto probabilmente, una concentrazione di ^{87}Sr più elevata rispetto quella degli altri isotopi stabili di Sr^{2+} (^{84}Sr , ^{86}Sr e ^{88}Sr), che si traduce in un rapporto $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ maggiore (*radiogenico*). Rocce che al contrario hanno basse concentrazioni di ^{87}Rb e alte concentrazioni di Sr, come i carbonati marini mesozoici,

hanno rapporti $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ più bassi (*non radiogenici*) e costanti nel tempo.

Le acque U si distinguono da quelle B per valori elevati di NO_3 , $\delta^{18}\text{O}$, δD , $p\text{CO}_2$ e valori molto bassi d'eccesso di gas nobili ($\delta\text{Ne} = 0$). Tutte queste caratteristiche sono tipiche delle ricariche di bassa quota. Si deve considerare che le acque B hanno in superficie tenori di gas nobili in equilibrio atmosferico ($\delta\text{Ne}=0$), ma non appena penetrano nell'acquifero assumono un grande eccesso di gas nobili, distintivo delle ricariche da fiume. Le acque tipo U possono mescolarsi con componenti B, per dare acque miste tipo UB, oppure con componenti P per dare acque miste tipo UP.

Le acque **non radiogeniche** possono provenire dal fiume Piave (P) e dall'acquifero U nel settore influenzato dallo stesso fiume (UP), oppure da una zona di ricarica per il momento denominata convenzionalmente "A". La caratteristica "non radiogenica" di queste acque è dovuta alla presenza di Sr proveniente dalla dissoluzione di calcari marini mesozoici.

Le acque **P** si distinguono da quelle UP per i tenori più elevati di SO_4 , bassi valori di NO_3 , $\delta^{18}\text{O}$, δD . Le acque di UP si distinguono da quelle UM per il rapporto $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ molto più basso e per i tenori di SO_4 alti o medio-alti, entrambe caratteristiche ereditate da P. In comune con UM hanno la caratteristica impronta della ricarica da suoli, cioè alti NO_3 , δD , $\delta^{18}\text{O}$ e pCO_2 .

Le acque **A** (acque antiche infiltrate in aree d'alta quota) sono anch'esse non radiogeniche, come o meno di quelle del Piave, ma differiscono da queste ultime per altre caratteristiche importanti. Sono innanzitutto molto meno mineralizzate, hanno tenori di SO_4 e pCO_2 molto bassi, come del resto CE, cloruri, elementi in traccia ecc. Queste acque hanno inoltre un notevole eccesso di gas nobili e δD e $\delta^{18}\text{O}$ più negativi rispetto alle altre acque. L'origine di queste acque potrebbe essere legata a fasi di ablazione glaciale tardo pleistocenica o ad antiche riserve d'acqua del Brenta, se si ammettesse l'esistenza di un processo in grado di eliminare completamente il carattere radiogenico dello ^{87}Sr dalle acque di questo fiume, per esempio per scambi di ^{87}Sr con la matrice solida. Queste acque dovrebbero, inoltre, provenire da una zona di ricarica di quota superiore rispetto a quella attuale delle acque del Brenta, o ricaricata in un periodo più freddo dell'attuale. L'ipotesi più plausibile è che la componente **A** sia geneticamente legata alla fase di massima velocità di fusione dei ghiacciai avvenuta a scala planetaria grossomodo 12.000 BP, e che tale fase possa aver avuto un ruolo determinante nel riempimento dell'acquifero indifferenziato di alta pianura, condizionandone, in termini di età media, l'intero volume d'acqua.

Mescolamenti delle acque sotterranee dedotti da SO_4^{2-} , NO_3^- e isotopi stabili (O e Sr) a Scorzè

I diversi campioni prelevati dai primi dieci acquiferi confinati nell'area di Scorzè (fino a 340 m di profondità) rappresentano, in definitiva, il risultato del mescolamento di quattro contributi idrici estremi (Tab. 12.8): B (fiume Brenta), U (acquifero indifferenziato), P (fiume Piave) e A.

- Le acque del primo acquifero derivano da un mescolamento tra B, P e U in parti approssimativamente uguali. Queste acque presentano tenori abbastanza elevati di SO_4 (leggermente inferiori a quelli del Piave), $\delta^{18}\text{O}$ meno negativo di P (spiegabile con un mescolamento binario tra P e U), tenori abbastanza elevati di nitrati e pCO_2 e, infine, un elevato rapporto $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$.
- Le acque del secondo acquifero derivano da un mescolamento tra P e UM dominanti con qualche

contributo di B. Queste acque presentano: tenori abbastanza elevati di SO_4 (poco inferiori a quelli del Piave), $\delta^{18}\text{O}$ meno negativo di P (spiegabile con un mescolamento binario tra P e U), tenori abbastanza elevati di nitrati e pCO_2 e, infine, un elevato rapporto $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, indicativo che la componente d'acqua dall'acquifero indifferenziato è UM.

- Nel terzo, quarto e decimo acquifero domina la componente d'acqua A, presente in misura minore anche nel settimo acquifero. In quest'ultimo acquifero è presente pure una piccola quantità di acqua UM. Si tratta comunque di acque molto pure, non radiogeniche, con bassi $\delta^{18}\text{O}$, con nitrati assenti, bassa concentrazione di pCO_2 , tenori praticamente nulli di SO_4 . Queste sono le acque che definiscono il polo "A".
- Le acque del quinto, sesto, ottavo e nono acquifero sono originate invece dal mescolamento di acque dominanti di tipo UM con frazioni d'acqua di tipo A. Si tratta infatti di acque meno radiogeniche e con tenori di SO_4 inferiori rispetto quelli del Brenta.

Datazione delle acque del IX acquifero a Scorzè

L'intero lavoro di datazione, condotto per i vari acquiferi dell'AATO, si basa su una prima importante distinzione fatta tra acque "recenti" e acque "vecchie"; intendendo "recenti" quelle di età inferiore a 50 anni, la cui determinazione è basata sul decadimento radioattivo di trizio, kripton, SF6 antropogenici. Le acque "vecchie" invece sono quelle di età superiore a 50 anni, la cui datazione è basata su decadimento radioattivo di ^{14}C e ^{39}Ar cosmogenici.

La Fig. 12.36 riporta l'esempio di alcuni risultati ottenuti su campioni prelevati dal IX acquifero (da 270 m a 300 m sotto il p.c.) nell'area di Scorzè. È indicata per ciascun campione l'età in anni della componente "vecchia" e il valore percentuale della componente "recente" presente nel campione. Si nota chiaramente come procedendo da NO verso SE l'età della componente vecchia aumenti rapidamente, a dimostrazione del basso tasso di rinnovamento che avviene verso SE negli acquiferi sotterranei nel dominio della bassa pianura. Si nota anche che la percentuale di acqua recente, procedendo da NO verso SE, si attesta su percentuali del 3% del campione, variando bruscamente verso 0% non appena viene superato il territorio oggetto dei massicci prelievi idrici dal sottosuolo.

Non compare in Fig. 12.36, ma è importante sottolineare che l'età delle componenti recenti presenti nei campioni analizzati testimoniano velocità di flusso dell'acqua nella nona falda, tra il punto a e il punto c, inaspettatamente elevate (il tempo di percorrenza è leggermente inferiore a 5 mesi) e di gran lunga superiori a quelle che caratterizzano la componente "vecchia".

Tutto ciò apre nuove prospettive nei modelli di flusso delle acque nei mezzi porosi, in quanto le evidenze analitiche, attraverso le diverse capacità risolutive dei

metodi isotopici adottati, mostrano come all'interno dello stesso campione coesistano acque di età estremamente differente, a suggerire che il moto dell'acqua nel sottosuolo non avvenga, come convenzionalmente assunto, secondo un modello a "pistone", bensì attraverso percorsi preferenziali, lungo i quali l'acqua si mescola poco con l'acqua in prossimità preesistente. L'acqua "recente", cioè, dopo essersi infiltrata nel sottosuolo scorre velocemente verso i punti di depressurizzazione (opere di captazione), mescolandosi però lentamente con la risorsa "vecchia".

A distanza di 19 mesi dal prelievo che ha fornito gli esiti di cui alla Fig. 12.36, il punto b è stato campionato nuovamente. I risultati dell'applicazione della sistematica $^3\text{H} - ^3\text{He}$ hanno dimostrato che la percentuale

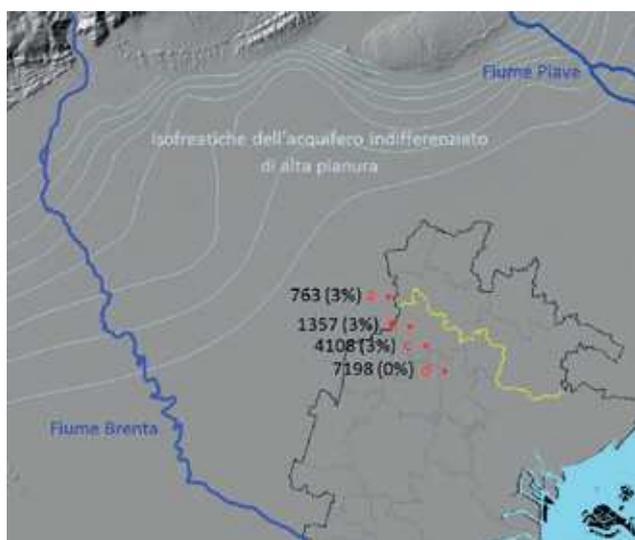


Fig. 12.36 - Età, in anni, dell'acqua campionata nel IX acquifero nell'area di Scorzé. I valori tra parentesi si riferiscono alla percentuale in volume di acqua recente (età minore di 50 anni) presente nel campione. La linea gialla separa i territori dell'ATO ricadenti in provincia di Treviso, a nord, da quelli ricadenti in provincia di Venezia, a sud.

di acqua "recente" presente nel campione era salita dal 3% al 8,5%. Tale tendenza è stata confermata anche dalla verifica effettuata su altri acquiferi.

Processi in atto nella ricarica degli acquiferi

L'analisi del bilancio idrogeologico effettuata dall'AATO in tutti gli acquiferi noti dell'area di risorsa idropotabile di propria competenza (pubblicato in CAMBRUZZI T. *et al.*, 2010), pur mettendo in evidenza alcune criticità, non aveva permesso di comprendere appieno quali processi, in atto nel sistema idrogeologico, stavano trasformando i meccanismi di ricarica degli acquiferi sotterranei. Il fatto di ricorrere ai metodi geochimici e della sistematica isotopica nell'affrontare la problematica in esame ha permesso di integrare sinergicamente le informazioni derivanti da due differenti approcci metodologici. Infatti la quantificazione dei flussi in entrata e in uscita dal sistema idrico sotterraneo e la conoscenza delle età delle varie componenti che costituiscono il volume d'acqua nell'acquifero contribuiscono a comprendere in quale modo l'estrazione esasperata della risorsa idrica sotterranea induca una irreversibile sostituzione della risorsa idrica sotterranea di elevato pregio con acqua infiltrata solo recentemente nel sottosuolo, che non possiede certo gli stessi connotati qualitativi.

La tendenza alla sostituzione, anche negli acquiferi profondi, della risorsa idrica millenaria con acque recenti, potenzialmente contaminate, e provenienti da aree di alimentazione differenti, è suffragata anche dalla variazione nel tempo dell'attività di ^{14}C misurate a Scorzé. Osservando la Fig. 12.37, infatti, si nota che i campioni prelevati a Scorzé nei vari acquiferi sono oggi generalmente più "attivi", e quindi più giovani, di quanto lo fossero nel 1973 (BORTOLAMI G. *et al.*, 1973). Queste variazioni appaiono strettamente correlate al tasso di estrazione d'acqua dagli acquiferi.

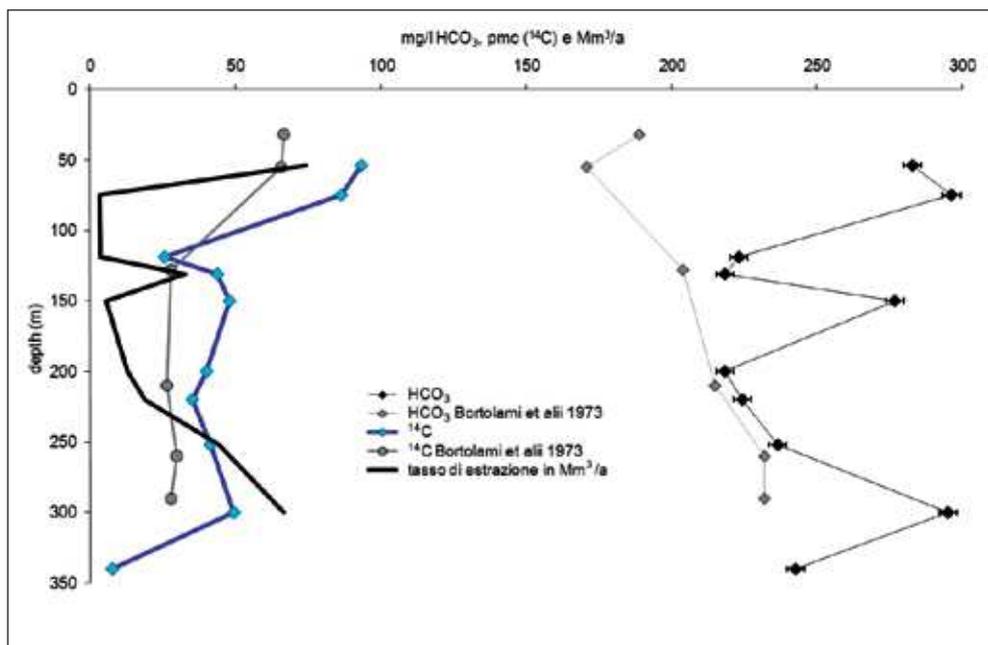


Fig. 12.37 - Profilo verticale di ^{14}C e HCO_3^- per i vari acquiferi a Scorzé. Sono riportati anche i valori misurati da BORTOLAMI G. *et al.*, 1973 e i volumi d'acqua estratti nel 2010 dai vari acquiferi di interesse dell'AATO, espressi in Mm^3/anno .

Le variazioni nel tempo delle concentrazioni di HCO_3^- mostrano invece che le acque "recenti", richiamate dalle estrazioni forzate negli acquiferi più produttivi, hanno attraversato, prima dell'abbandono del contatto con l'atmosfera, i suoli delle aree di ricarica di bassa quota nella pianura dell'acquifero indifferenziato. La Fig. 12.38, analogamente a quanto detto in precedenza, scandisce l'evoluzione che il IX acquifero a Scorzè ha subito dal 2008 al 2009; in questo intervallo

temporale l'acqua è stata interessata da un processo di ringiovanimento medio dimostrato dal *trend* negativo delle concentrazioni di ^4He e dai *trends* positivi del ^{14}C e del ^3H . Contemporaneamente, la riduzione della negatività del $\delta^{18}\text{O}$ e l'aumento dell'alcalinità rivelano un cambiamento nell'area di ricarica dell'acqua che sembra provenire da siti a quota più bassa e caratterizzati dalla presenza di suoli con elevata pCO_2 .

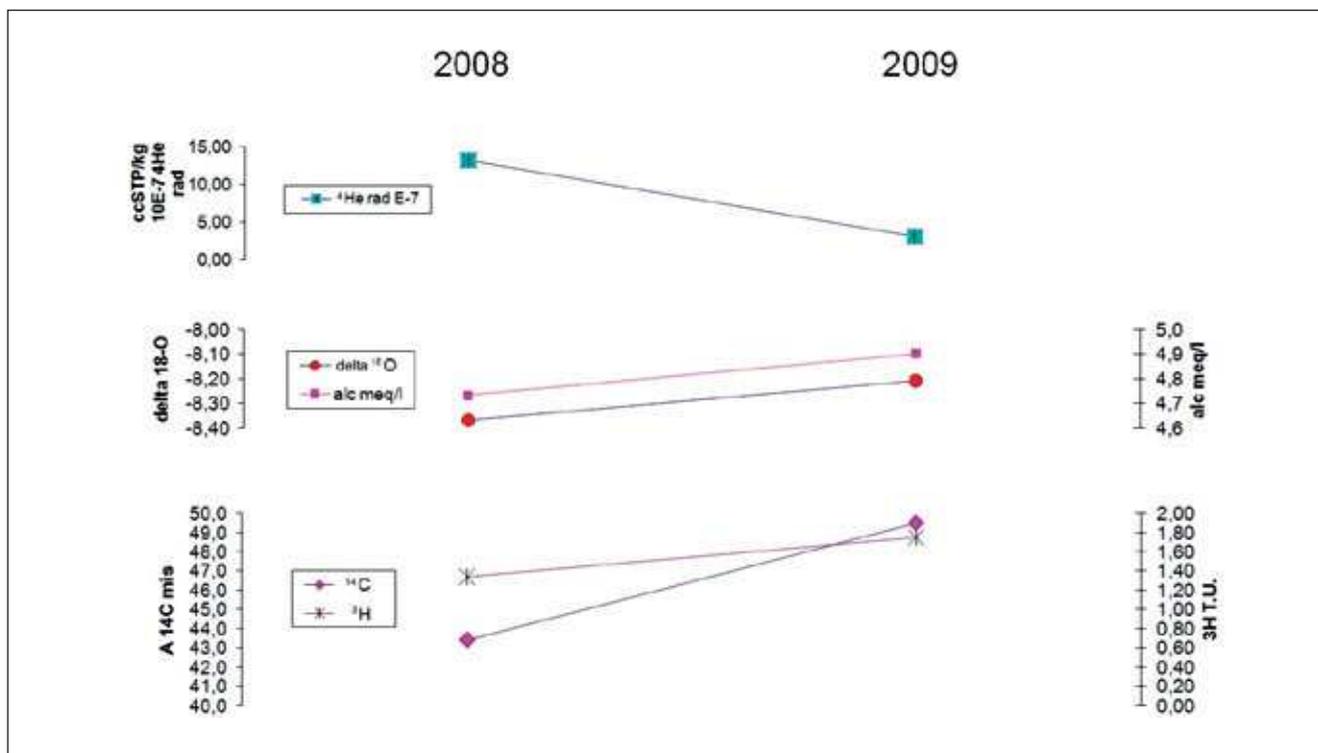


Fig. 12.38 - Trasformazione in atto nel IX acquifero a Scorzè.

Conclusioni

Il fatto positivo emerso dallo studio è che negli acquiferi profondi sia stata riscontrata ancora la presenza di acqua di migliaia d'anni, che implica che la riserva contiene ancora acqua molto antica e di ottima qualità. E' positivo anche il fatto che in questi acquiferi sia presente dell'acqua recente, che implica che queste riserve possono essere rinnovate. Tuttavia, dobbiamo essere consapevoli del fatto che il processo di esaurimento della riserva d'acqua antica è già iniziato e che l'entrata di acque recenti nella riserva antica può comportare un depauperamento in termini qualitativi, ciò che aumenta la vulnerabilità della riserva nei confronti di acque recenti contaminate.

Dall'analisi emerge anche che attualmente i fiumi non sono più i principali attori della ricarica degli acquiferi e l'alimentazione avviene prevalentemente dalla pianura dell'area indifferenziata con conseguente degrado progressivo degli aspetti qualitativi delle acque che si infiltrano attraverso suoli di aree agricole; tale processo in atto riguarda anche le falde più profonde. Dal quadro idrogeologico delineato, scaturisce la considerazione che l'elevata qualità delle acque sot-

terranee presenti negli acquiferi da cui trae alimentazione il Servizio Idrico Integrato nell'ATO "Laguna di Venezia" dovrebbe indurre a considerare tali acquiferi come riserve strategiche destinate alla specifica destinazione d'uso potabile, che consentano di far fronte anche all'eventualità di un futuro climaticamente sfavorevole. L'attuale grado di sfruttamento della risorsa idrica sotterranea non è sostenibile a lungo, se non al prezzo di un radicale mutamento di un sistema idrogeologico che ha già visto l'inizio della metamorfosi. È pertanto necessario intraprendere un percorso di razionalizzazione degli usi delle acque sotterranee e di pianificazione di una specifica destinazione d'uso degli acquiferi.

13 GEOSCAMBIO

ANTONIO GALGARO¹, ELISA DESTRO¹, VALENTINA BASSAN²

13.1. INTRODUZIONE

È noto che la Terra, intesa come sorgente di energia geotermica, può essere considerata una risorsa energetica illimitata. Il flusso di calore naturale prodotto all'interno della Terra e trasferito alla superficie terrestre è strettamente legato alla natura della crosta terrestre e può variare sensibilmente a seconda del territorio che si considera.

Questa differenza di temperatura tra la superficie terrestre e i livelli sottostanti può essere considerata una risorsa energetica non solo come fonte di calore da sfruttare in assorbimento, ma anche come possibile serbatoio freddo da utilizzare per refrigerare una macchina termica che si trova in superficie. Un sistema che sfrutta queste potenzialità è pertanto in grado di offrire calore (azione riscaldante) quando in superficie la temperatura è bassa e di sottrarre calore (azione refrigerante) quando in superficie la temperatura è elevata. Esso necessita di un vettore (acqua), di una pompa per il suo ricircolo, degli scambiatori di calore, nonché di una valutazione approfondita del gradiente termico locale.

La geotermia a bassa entalpia è un sistema applicabile a tutti i terreni cosiddetti "normali" e si basa su processi di scambio termico con il sottosuolo, inteso come massa di grande capacità termica. Grazie alla sua inerzia termica, già pochi metri sotto la superficie il terreno risente in modo decisamente attenuato e smorzato delle fluttuazioni termiche giornaliere e stagionali dell'aria; la temperatura del terreno, a queste profondità, si può considerare costante per tutto l'arco dell'anno. Esiste perciò la possibilità di estrarre calore dal terreno durante l'inverno, e riscaldare quindi l'edificio, e cedere calore al medesimo in estate, per raffrescarlo. È attraverso impianti geotermici di climatizzazione che si produce acqua per il riscaldamento e acqua calda sanitaria, nonché acqua fredda per il raffrescamento, eliminando così i costi e le emissioni connesse all'uso dei combustibili fossili. Si preferisce, quindi, utilizzare il termine "sistema di geoscambio" perché si tratta di un vero e proprio scambio di energia termica da e verso il sottosuolo.

È evidente che un sistema che sfrutta le caratteristiche termiche del sottosuolo di inerzia e di isolamento termico, nonché di capacità di autorigenerazione, dimostra possedere un ridotto impatto ambientale (con una riduzione dell'emissione di sostanze inquinanti che può arrivare al 70% rispetto a un tradizionale impianto a gas), nonché un considerevole livello di risparmio economico correlato all'accoppiamento con sistemi termodinamici (le pompe di calore) a elevata efficienza energetica.

Solo recentemente in Italia si è destato un certo interesse su tale argomento, grazie anche allo sviluppo che la geotermia ha avuto in diversi Paesi Europei, primi tra tutti la Svizzera, l'Austria e la Svezia, ma anche la Germania.

In Italia, nonostante le condizioni naturalmente favorevoli, risultano ancora solo poche realtà. Tale esiguo numero di installazioni è correlabile sia alla scarsa conoscenza della tecnologia che ai costi di realizzazione degli impianti, attualmente piuttosto elevati (anche per la mancanza di incentivazioni nazionali e regionali), ma anche alla mancanza di un'adeguata normativa di riferimento. La mancanza parziale d'informazione in merito alla diffusione degli impianti esistenti potrebbe anche essere correlata al probabile esteso abusivismo, favorito anche dal vuoto normativo attuale, sia a livello nazionale che locale, che c'è stato fino ad ora.

Considerato che:

- una cartografia che rappresenti l'idoneità all'impiego di sistemi di geoscambio potrebbe rappresentare uno strumento applicativo di indirizzo volta a una più idonea utilizzazione del territorio sia per la pubblica amministrazione che per il progettista;
- risulta necessario produrre un documento normativo che possa portare a una maggiore chiarezza sulle procedure amministrative e a un controllo delle installazioni, oltreché rappresentare un'utile guida tecnica di installazione a tutela della qualità dell'impianto e dell'integrità dell'ambiente;
- l'applicazione di tale tecnologia può contribuire in modo significativo al miglioramento della qualità ambientale e alla riduzione dei consumi energetici;
- la delicatezza del panorama ambientale provinciale e i diversi contesti che la caratterizzano devono essere tutelati anche con una disciplina di indirizzo tecnico-amministrativo;

la Provincia di Venezia ha promosso un'analisi tecnico-scientifica per la valutazione del caratteristiche del territorio di provinciale all'impiego dei sistemi di geoscambio per scopi di climatizzazione.

In questo capitolo si rappresenta una sintesi del progetto di ricerca denominato "Geoscambio della provincia di Venezia", stipulato tra il Dipartimento di Geoscienze dell'Università di Padova e il Servizio Geologico, Difesa del Suolo e Tutela del Territorio della Provincia di Venezia al fine di valutare l'idoneità del territorio provinciale a ospitare diffusamente gli

¹ Dipartimento di Geoscienze dell'Università di Padova

² Provincia di Venezia, Servizio Geologico, Difesa del Suolo e Tutela del Territorio

impianti geotermici senza uso diretto di acqua di falda (a circuito chiuso o "closed loop").

L'importanza di poter disporre di informazioni volte alla conoscenza delle capacità di geoscambio del sottosuolo e la necessità di poter identificare le aree dove il metodo risulti più conveniente, nonché di individuare le aree in cui limitarne l'applicazione, costituisce una azione utile agli organi di gestione del territorio, finalizzata allo sviluppo sostenibile e "regolamentato" della risorsa sotterranea.

Nella cartografia "Idoneità al geoscambio" della Tav. 13, alla scala 1:100.000, vengono sintetizzati i risultati delle indagini di seguito esposti.

13.2. QUADRO IDROGEOLOGICO DI RIFERIMENTO³

Il territorio della provincia di Venezia rientra completamente nella fascia di bassa pianura, costituita in prevalenza da sedimenti fini e caratterizzata da un livello superficiale della prima falda che può consentire di considerare un ipotetico livello di saturazione dei terreni, in prima approssimazione e per buona parte del territorio provinciale, molto prossimo alla superficie topografica; i terreni possono quindi essere considerati, ai fini della valutazione delle proprietà termiche, saturi praticamente dal piano campagna.

In generale l'idrogeologia del veneziano è caratterizzata dalla presenza di falde superficiali, la cui superficie è posta appena al di sotto del piano campagna, e da numerose falde in pressione sovrapposte.

Il sottosuolo dell'area in oggetto si inserisce nel sistema multifalda della bassa pianura veneta, con un'alternanza, talvolta molto articolata, di livelli permeabili e impermeabili.

13.2.1. La banca dati geotermica

Le fonti da cui sono stati tratti i dati sono la Provincia di Venezia, l'ARPAV, il CNR, la Regione Veneto.

La banca dati utilizzata per l'inserimento del tematismo geotermico è quella già esistente del Servizio Geologico provinciale⁴.

Al fine di presentare una cartografia significativa del potenziale di geoscambio è necessario identificare le grandezze fisiche che maggiormente influenzano il comportamento del terreno dal punto di vista termico. I parametri utilizzati, ritenuti significativi ai fini geotermici, sono stati:

- la tessitura-granulometria, ricavata dallo studio delle sequenze litostratigrafiche;
- le informazioni di tipo idrogeologico, quali la quota della prima falda;
- la permeabilità equivalente desunta dai dati granulometrico-tessiturali;
- la velocità "Darciniana";
- le grandezze di tipo termodinamico, quali la conducibilità termica del terreno (stimata da dati bibliografici su base granulometrico - tessiturale) e la distribuzione della temperatura nel sottosuolo.

È importante determinare le caratteristiche geolo-

giche perché intrinseche dei terreni interessati dai processi di scambio termico. L'informazione litostratigrafica fornisce innanzitutto il contesto dell'ambiente geologico coinvolto e la conoscenza del tipo di materiale attraversato. Determinare i costituenti principali delle successioni dei materiali del sottosuolo, siano essi ghiaie, sabbie, limi o argille, è un processo fondamentale poiché partecipano a diverso titolo nello scambio termico.

In seguito si sono valutati i parametri di tipo idrogeologico. Il parametro quota della falda libera permette di valutare il parametro "conducibilità termica". Come noto, i valori di conducibilità termica del materiale sono sensibilmente condizionati dalla presenza di acqua nei pori. La conoscenza delle condizioni di saturazione dei materiali che compongono il sottosuolo, interessati dai processi di scambio termico, costituisce un'informazione fondamentale per la definizione delle capacità di scambio termico con il sottosuolo.

Le caratteristiche termodinamiche non sono in relazione tra loro perché, mentre la conducibilità termica è ricavato da valori di letteratura assegnati ai materiali riconosciuti dai dati stratigrafici, la temperatura nel sottosuolo è stata assegnata sulla base di serie temporali di temperatura dell'aria e assunta corrispondente alla temperatura media annua dell'aria nelle varie località considerate.

In questo studio viene fornita un'interpretazione del potenziale di geoscambio riferito a un'area molto estesa, il cui livello di dettaglio considera poco l'influenza di effetti territoriali locali che necessariamente appartengono a informazioni di scala almeno intercomunale. A tale scopo è stata associata alla banca dati provinciale esistente una serie di informazioni dedicate alla caratterizzazione geotermica del territorio provinciale.

Il processo logico-tecnico seguito per la costruzione della carta di sintesi è strutturato in modo tale da permettere una chiara comprensione dei livelli informativi che costituiscono l'organizzazione del lavoro.

I nuovi *record* a indirizzo geotermico hanno previsto l'inserimento, nell'esistente *data base* provinciale, di una selezione di informazioni stratigrafiche relative a pozzi che superavano i 60 m di profondità: tale limite è suggerito dalla necessità di rappresentare il comportamento del terreno a profondità confrontabili con quelle tipiche di sonde geotermiche verticali (100-120 m), che costituiscono la tipologia di geo-scambiatore più comunemente utilizzato negli impianti geotermici. Tale limite è correlato alle caratteristiche costruttive delle sonde stesse, che sono in grado di sopportare sollecitazioni meccaniche entro limiti correlati a *range* combinati di temperatura e pressione.

Il metodo di archiviazione delle informazioni stratigrafiche non è univoco per tutte le fonti da cui sono state

³ Si vedano i capitoli 8 "Geologia", 12 "Idrogeologia", 14 "Vulnerabilità" e le Tavv. 10, 11, 12.

⁴ Si veda il capitolo 5 "Banche dati" e la Tav. 7.

raccolte le stratigrafie. Il supporto originario delle fonti è risultato prevalentemente cartaceo; soltanto i dati già presenti nella sistema informativo della Provincia erano in formato organizzato e ospitati in una banca dati dedicata all'uso del suolo.

Il lavoro di selezione, archiviazione, e validazione dei dati ha previsto anche un'operazione di omogeneizzazione fra le diverse fonti e riferita agli *standard* qualitativi della pre-esistente banca dati provinciale, sviluppata in ambiente GIS. I dati raccolti hanno dimostrato una certa disomogeneità a causa dei diversi metodi di esecuzione delle perforazioni e della soggettività relativa alla redazione del rapporto di perforazione. Vista la notevole complessità dell'assetto geologico e idrogeologico della pianura veneziana sono stati adottati criteri di organizzazione dei dati dedicati alla particolare situazione.

La validazione è avvenuta tramite il controllo incrociato tra i dati stessi e i dati limitrofi di medesimi contesti geologici; in caso di discrepanze si è provveduto all'eliminazione del dato riconoscendo quelli più coerenti e affidabili.

Per la digitalizzazione di tali dati sono state scelte le stratigrafie delle varie fonti (Provincia di Venezia, ARPAV, CNR, professionisti) che superavano i 60 m all'interno del territorio provinciale veneziano.

Il *data base* creato per questo progetto è caratterizzato da un'elevata flessibilità che consente, tramite il modello relazionale, di modificare e creare nuove combinazioni tra tabelle con campi diversi, interrogabili in base alle diverse esigenze dell'utente.

I punti di informazione selezionati sono stati 127,

dotati di distribuzione piuttosto omogenea con una densità media di 5 punti ogni 100 km²; maggiore densità di informazioni si ritrova nell'area di Mestre a causa dell'elevata densità di utilizzi di acque sotterranee.

Vista la complessità del quadro geologico della pianura veneziana, per necessità di semplificazione sono stati adottati dei particolari criteri di organizzazione dei dati litostratigrafici.

I termini considerati nella banca dati sono stati archiviati e organizzati con finalità di caratterizzazione geotermica. I parametri considerati sono stati derivati dalle informazioni litostratigrafiche e idrogeologiche determinando valori medio-pesati considerando una colonna equivalente di 100 m di profondità.

13.3. CARTOGRAFIA TEMATICA

Dallo studio e dall'analisi dei parametri selezionati, dalla prescrizione del nuovo Piano di Tutela delle Acque della Regione Veneto, in cui si delega la Provincia ad autorizzare la realizzazione di sistemi di scambio termico con il sottosuolo che non prevedano la movimentazione di acqua, e sulla base degli indirizzi del D.Lgs. 22/2010, in cui si definiscono le piccole utilizzazioni locali di calore geotermico, si giunge alla creazione delle carte tematiche per lo studio del geoscambio.

Le carte tematiche sono state interpolate usando metodi statistici semplificati e variabili per tematismo sulla base delle diverse geometrie di distribuzione delle informazioni di base.

Al fine di poter realizzare le carte tematiche di inte-

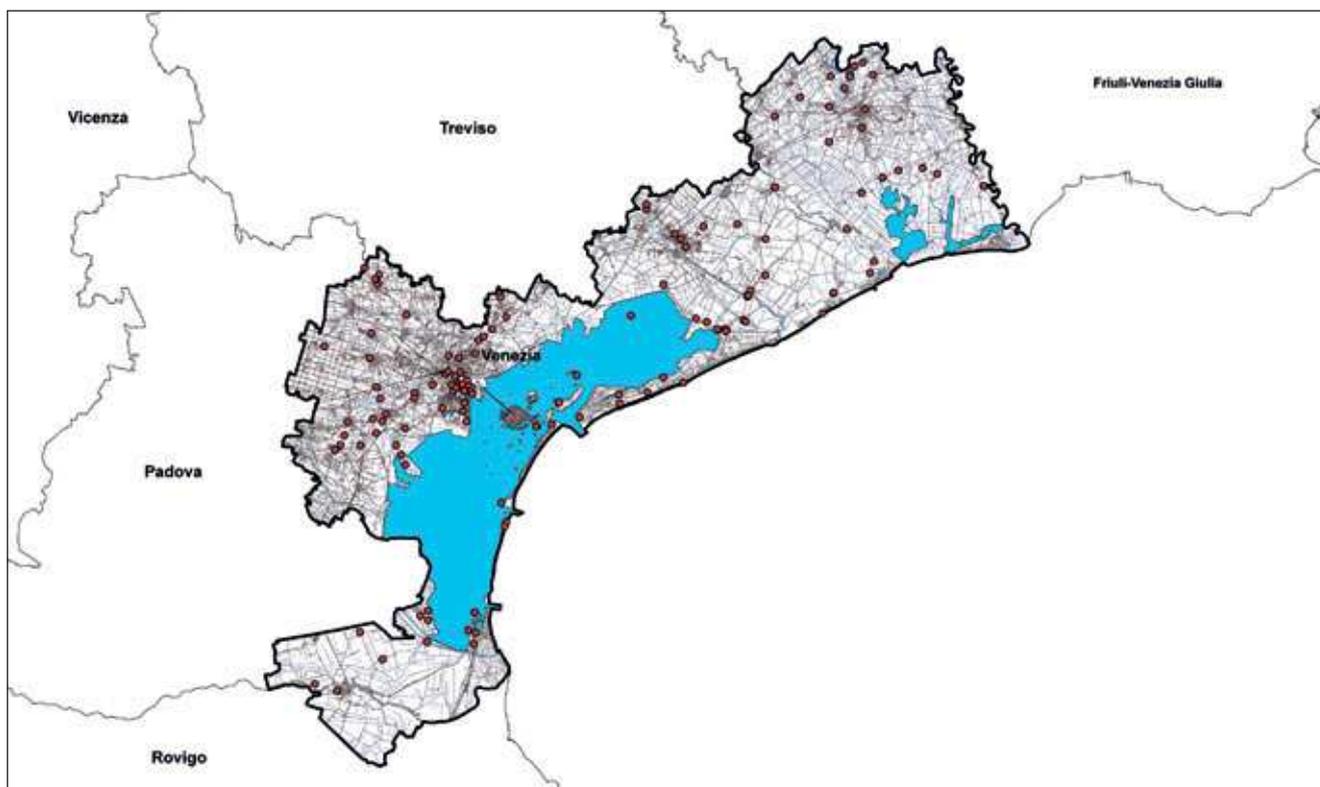


Fig. 13.1 - Ubicazione dei punti di informazione stratigrafica.

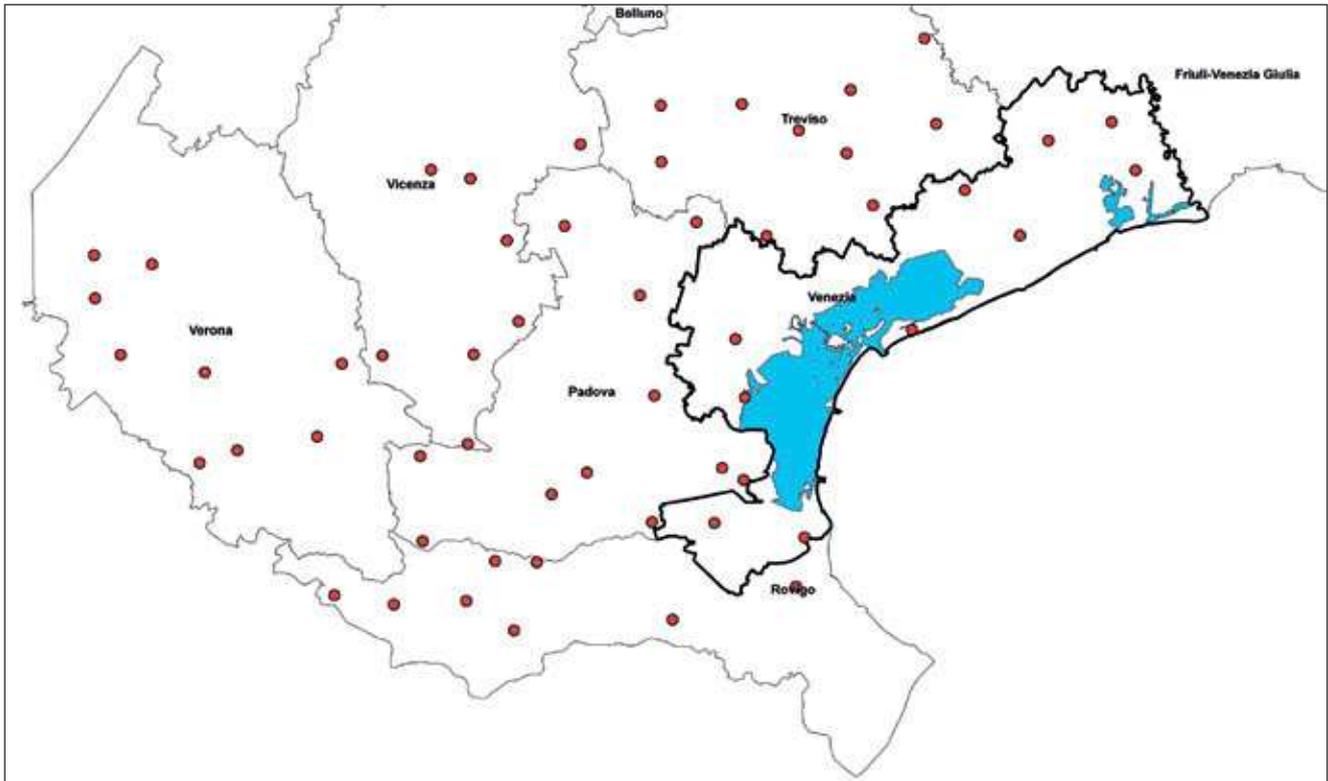


Fig. 13.2 - Ubicazione delle stazioni meteo (rete ARPAV) per il calcolo della temperatura media dell'aria.

resse, sono stati scelti i parametri per la loro realizzazione.

I parametri ritenuti significativi e considerati al fine di caratterizzare la capacità di scambio termico del sottosuolo sono:

- temperatura media annua dell'aria;
- conducibilità termica media equivalente dei terreni;
- flusso di calore (gradiente di temperatura);
- conducibilità idraulica media;
- la velocità teorica della falda ricavata tramite la legge di Darcy semplificata.

Generalmente la velocità degli orizzonti acquiferi rappresenta un fattore importante in quanto si ritiene che la presenza di acqua, in movimento nel sottosuolo, determini la generazione di moti convettivi in grado di trasportare calore molto più efficientemente se confrontato con i processi di trasmissione per sola conduzione.

Poiché nell'area di studio, pur talora con discreti valori di permeabilità idraulica, le falde acquifere che interessano il sottosuolo provinciale risultano possedere velocità molto basse a causa dei ridotti gradienti idraulici, il tematismo velocità della falda, non incidendo significativamente nei processi di trasporto termico, non è stato considerato nella determinazione della cartografia di sintesi finale.

13.4. TEMPERATURA MEDIA DELL'ARIA⁵

Per la carta tematica "Temperatura media dell'aria" sono stati interpolati i dati rilevati nelle stazioni meteo ARPAV distribuite come in Fig. 13.2. Tale scelta è stata presa poiché si è ritenuto che l'andamento delle temperature

medie dell'aria al di fuori della provincia influenzassero l'andamento delle temperature all'interno del territorio veneziano. Soprattutto per definire con maggior dettaglio le temperature in prossimità del confine amministrativo, si è ritenuto necessario non affidarsi soltanto ai valori misurati nelle stazioni veneziane.

Le stazioni meteo considerate per il calcolo sono 56, dieci delle quali si trovano all'interno della provincia di Venezia.

La temperatura media dell'aria è il parametro più facilmente rilevabile e si presume che esso rappresenti la temperatura al suolo nella stazione dove viene misurata.

Nella Fig. 13.3 è rappresentata la carta della temperatura media annua dell'aria. Si osserva che la variabilità di tale parametro è modesta, come si può infatti vedere dalla legenda; la differenza massima di temperatura media su tutto il territorio è infatti di 0,62°C.

Si capisce quindi che il valore medio di temperatura al suolo è di circa 13°C.

È possibile che le condizioni climatiche locali diversifichino le zone; in Fig. 13.3 si osserva infatti che l'area meridionale è leggermente più calda rispetto al resto del territorio.

Tale informazione riveste generalmente una notevole importanza sia per il calcolo del gradiente geotermico, sia come dato climatico utile alla progettazione termotecnica di impianti di climatizzazione.

⁵ Si veda il capitolo 11 "Climatologia".

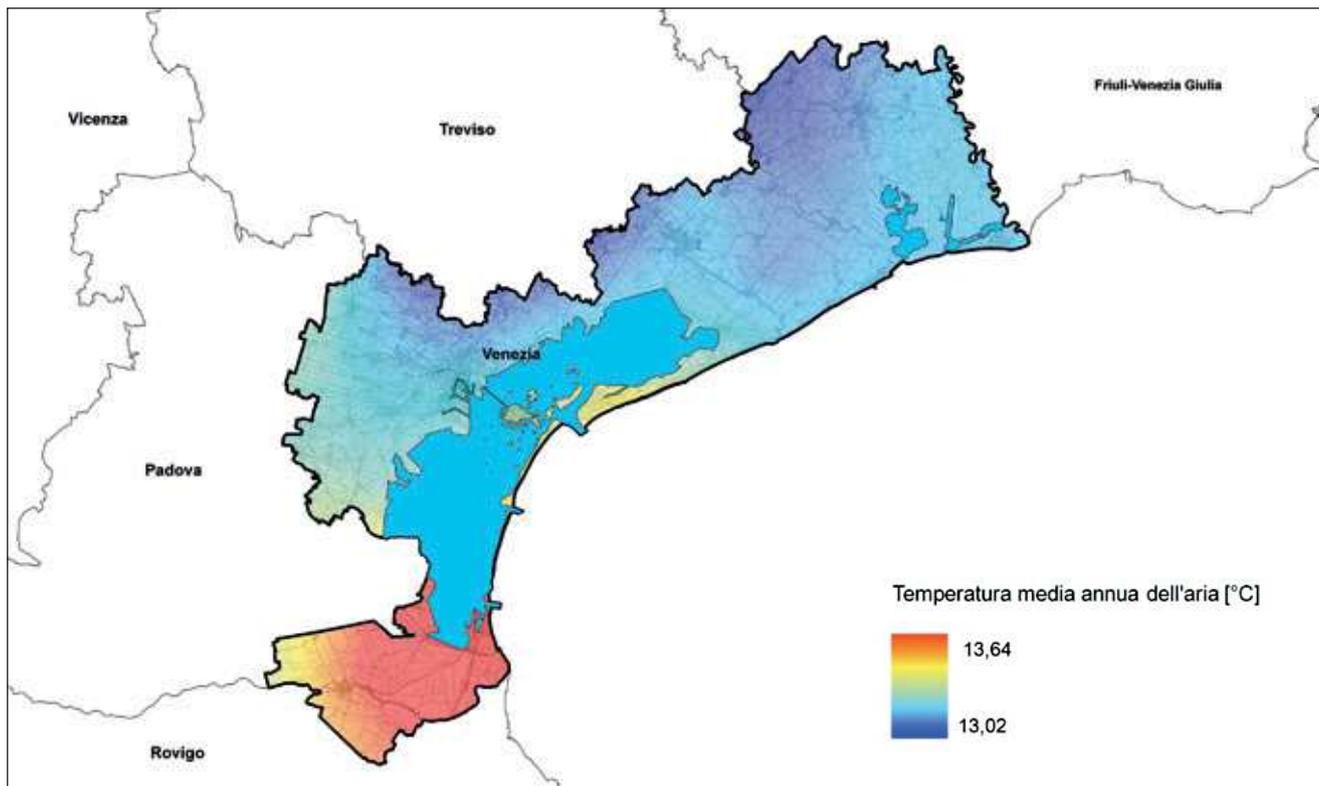


Fig. 13.3 - Carta della temperatura media dell'aria.

13.5. IL GRADIENTE GEOTERMICO

La temperatura del terreno superficiale è strettamente legata alla temperatura media annua dell'aria; il calore che ne deriva è infatti direttamente dovuto all'energia solare assorbita dalla superficie. Nel sottosuolo profondo agisce invece il calore dovuto al flusso geotermico.

Il gradiente geotermico è dovuto alla variazione di temperatura in relazione all'incremento della profondità, come descritto nella seguente espressione:

$$\text{grad } T = \frac{dT}{dz}$$

Come si osserva nello schema in Fig. 13.4, per il calcolo del gradiente geotermico sono necessari almeno due punti che abbiano diversi valori di temperatura a diverse profondità.

La temperatura del sottosuolo alla profondità x è stata misurata nei punti visibili in Fig. 13.5. I punti sono 5046 e derivano da misure dirette su pozzi condotte dalla Provincia e da studi specifici condotti nel portogruarese⁶. Osservando la Fig. 13.6 relativa al "Gradiente di temperatura" si riconoscono le aree dell'anomalia termica del portogruarese; altre anomalie si rilevano nel settore centrale, principalmente nella zona di Santa Maria di Sala e, secondariamente, nell'area di Chioggia.

13.6. IL FLUSSO GEOTERMICO

La temperatura del terreno superficiale è strettamente legata alla temperatura media annua dell'aria; il

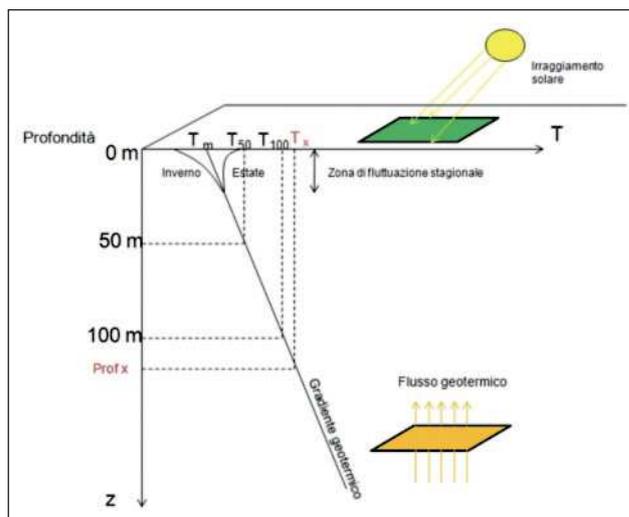


Fig. 13.4 - Schema per il calcolo del gradiente geotermico.

calore che ne deriva, infatti, è direttamente dovuto all'energia solare assorbita dalla superficie. Nel sottosuolo profondo agisce invece il calore dovuto al flusso geotermico.

Per la determinazione dei valori di flusso geotermico sono state incrociate le due carte tematiche del gradiente geotermico e della conducibilità termica media. La carta della conducibilità termica media (Fig. 13.7) è stata calcolata in base alla carta della quota della falda (Fig. 13.8). Quest'ultima carta è stata

⁶ ZANGHERI P., GARBELLINI A., GREGO S., PAULON G., VITTURI A. (2001) - Indagine sulle acque sotterranee del portogruarese. Consorzio di Bonifica "Pianura Veneta tra Livenza e Tagliamento" - Provincia di Venezia.

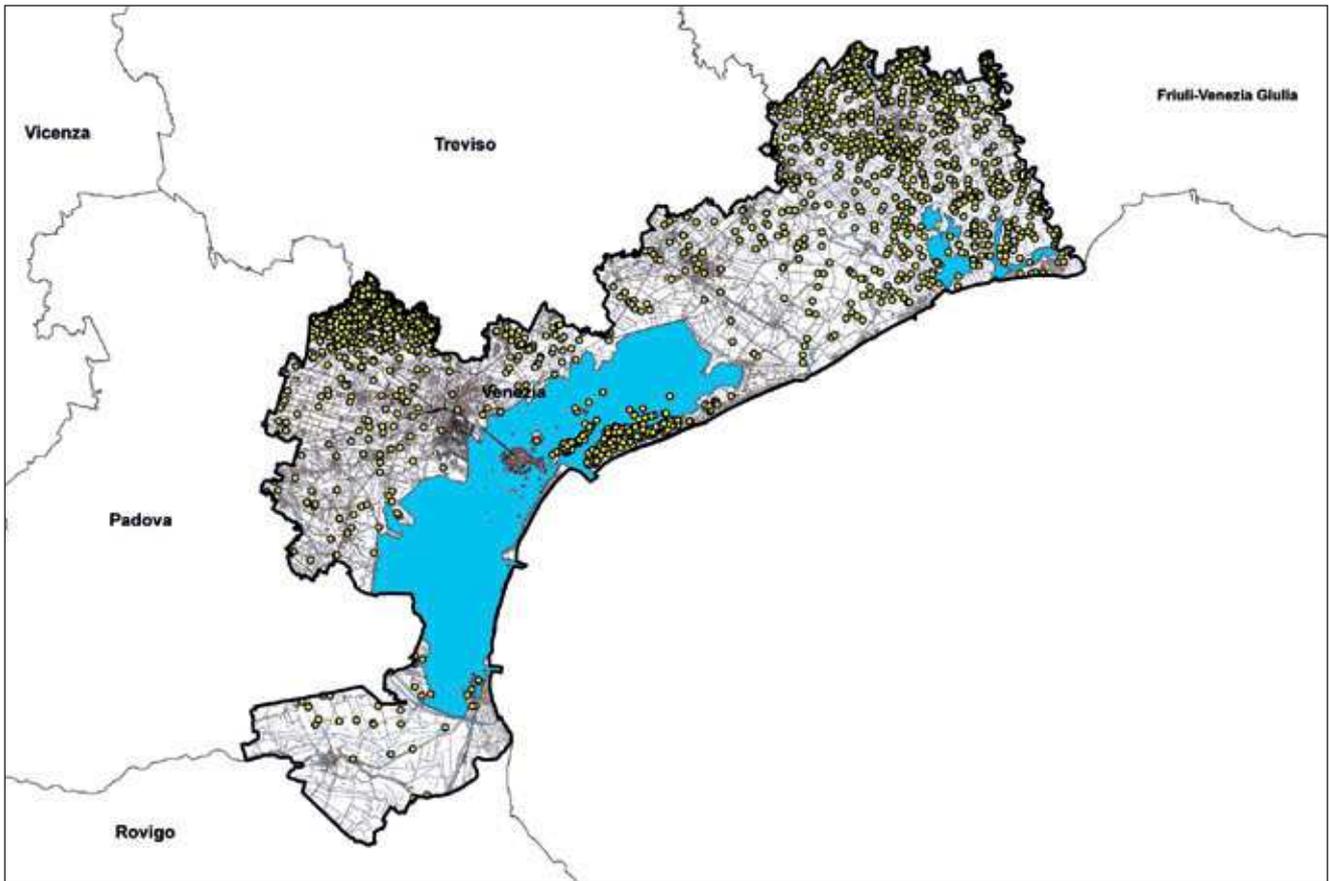


Fig. 13.5 - Ubicazione dei punti di misura delle temperature profonde.

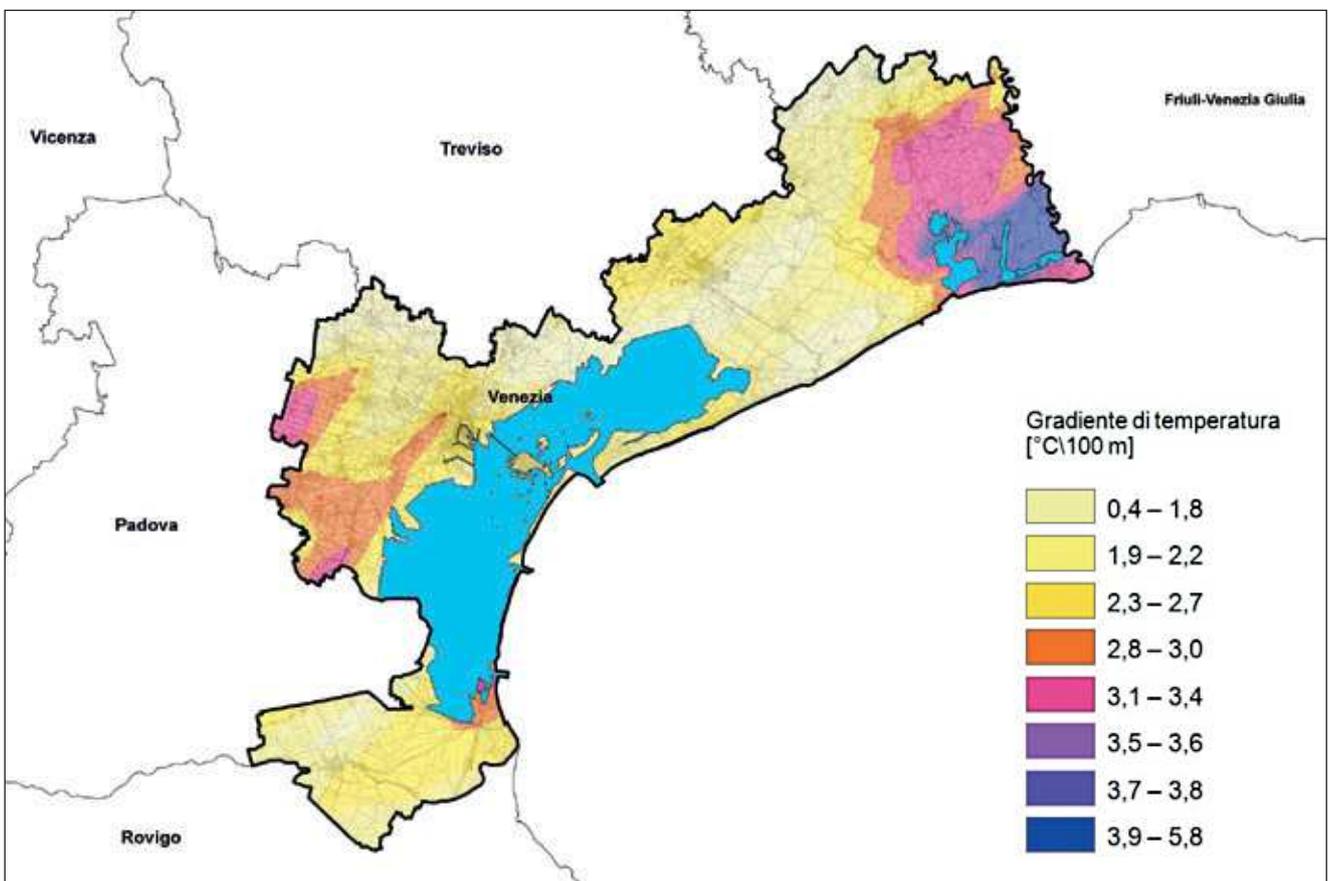


Fig. 13.6 - Gradiente di temperatura.

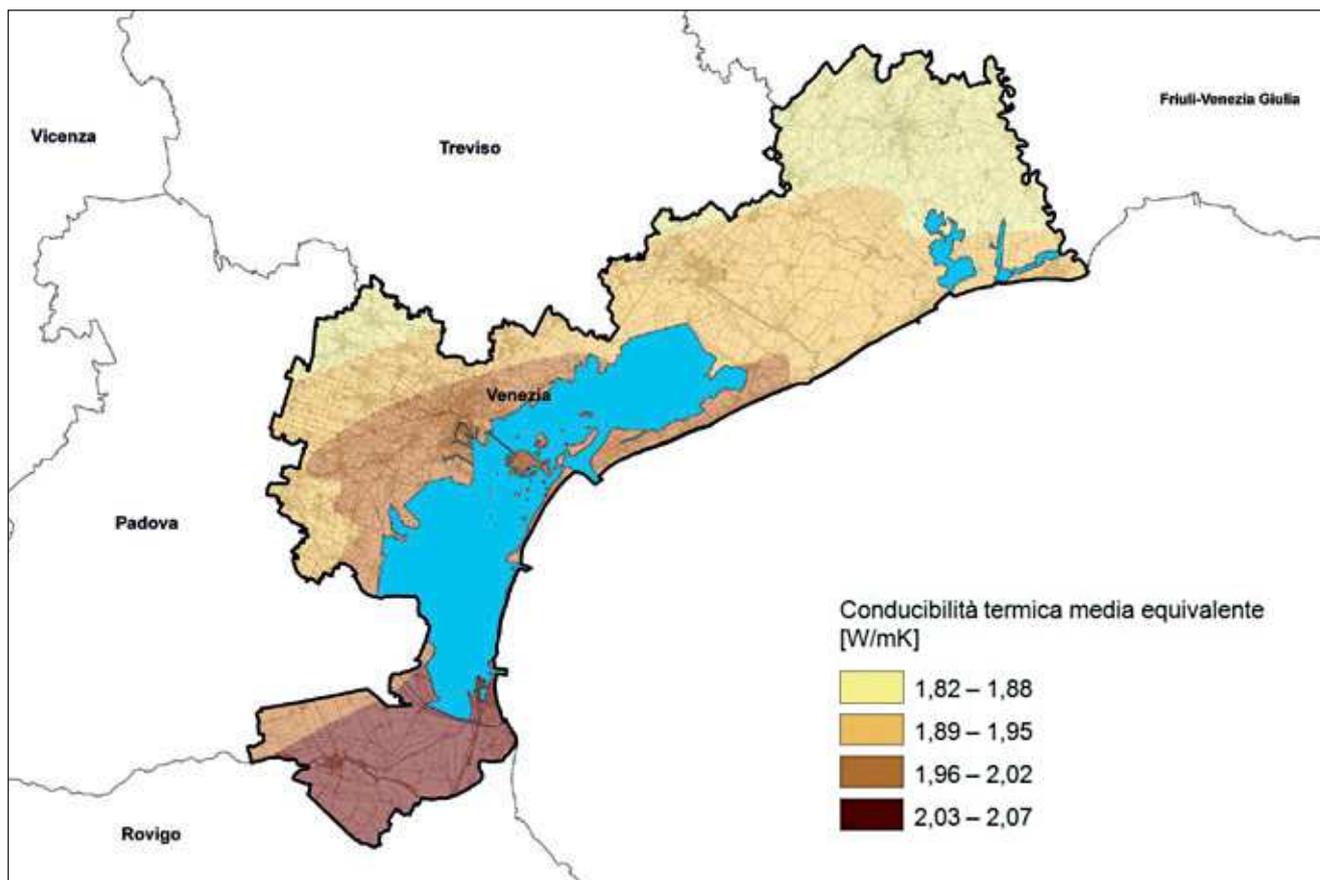


Fig. 13.7 - Carta della conducibilità termica media.

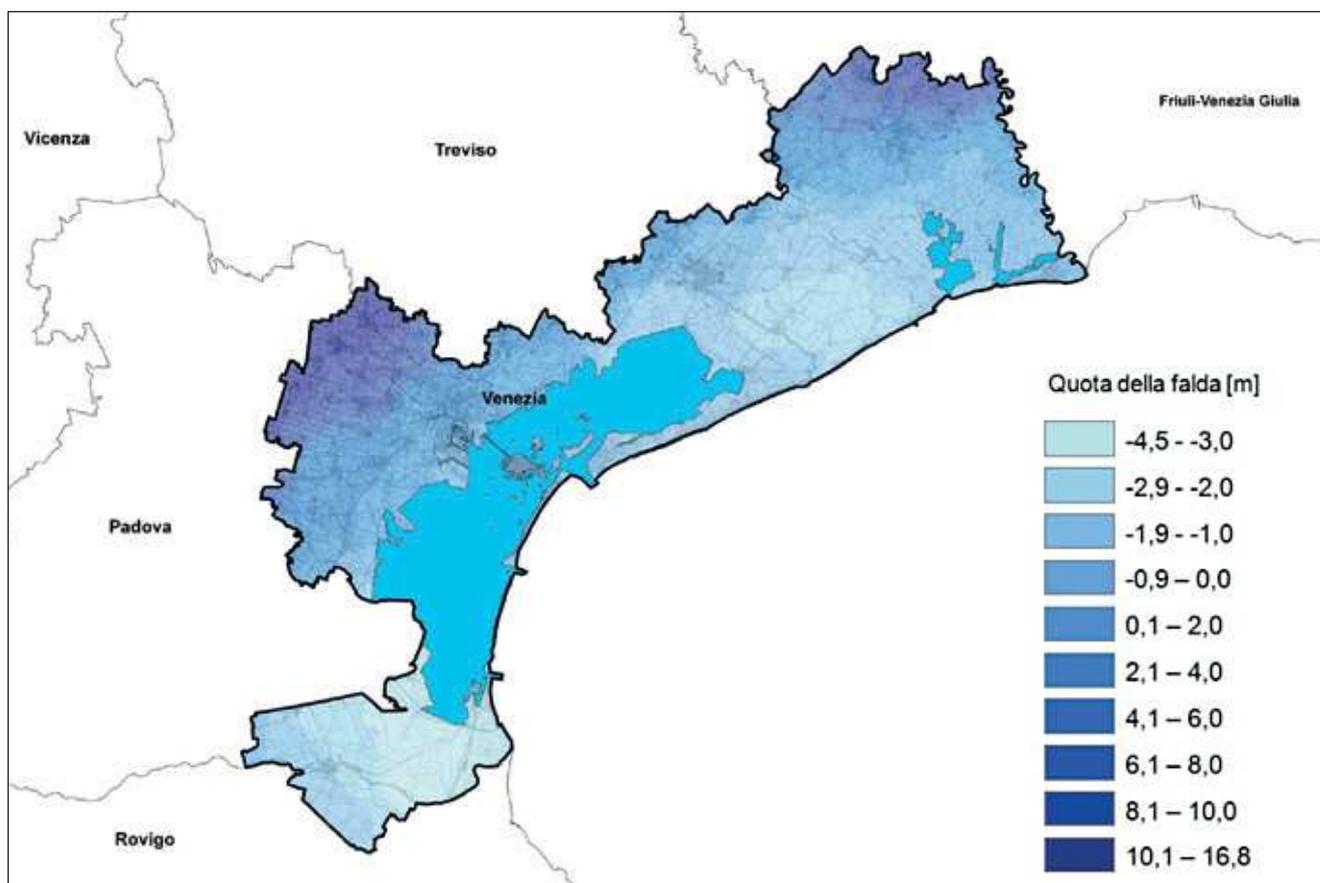


Fig. 13.8 - Carta della quota del livello di saturazione dei terreni (da dati Arpav, maggio 2003).

necessaria per la valutazione dei valori di conducibilità termica reali. Infatti, è stata verificata la profondità della falda per assegnare alle litologie i valori di conducibilità termica reale, satura o insatura, secondo le tabelle riportate nelle pubblicazioni ASHRAE e nella VDI 4640 tedesca. Ben si distingue l'anomalia termica del portogruarese, l'anomalia termica dell'area di Santa Maria di Sala nella fascia centrale e un lieve flusso nell'intorno di Chioggia.

L'anomalia del portogruarese è già stata studiata dal Consorzio di Bonifica Pianura Veneta tra Livenza e Tagliamento (ora Veneto Orientale); indica che molti pozzi per acqua utilizzati per l'approvvigionamento idrico autonomo, captanti acquiferi presenti a profondità comprese tra 50 e 700 m, erogano acqua con temperature variabili da 20°C a 50°C.

L'anomalia di Santa Maria di Sala non è nota, ma dai riscontri che si hanno sia dal gradiente geotermico sia dal flusso sembra che si possa considerare tale. Sembra, osservando anche la Fig.13.9, che l'anomalia Euganea si protenda verso est causando l'innalzamento del gradiente, e quindi anche del flusso, nell'area.

Tutti i dati presi in considerazione sono stati validati; su di essi è stata fatta una particolare indagine statistica evidenziando valori elevati di temperatura a profondità comprese tra 40 e 400 m rispetto alle aree limitrofe.

13.7. CARTA DEL POTENZIALE DI GEOSCAMBIO.

Dalle informazioni di ordine idrogeologico litostratigrafico e termico è stato possibile redigere una prima cartografia di sintesi che si potrebbe definire "Carta del Potenziale di Geoscambio": Tale prodotto ha lo scopo di individuare le aree idonee allo scambio termico e in grado di ospitare diffusamente gli impianti di geoscambio, e inoltre le aree in cui si suggerisce di limitarne la loro applicazione.

13.7.1. Aree di salvaguardia (P.T.A.⁷).

Il D.Lgs. n° 152/2006 stabilisce norme in materia ambientale. In particolare, nella parte terza, si trovano le norme che tutelano e disciplinano le risorse idriche, sia sotterranee che superficiali. Inoltre, pongono l'attenzione sul rispetto delle aree di salvaguardia delle acque superficiali e sotterranee destinate al consumo umano.

Le opere di presa, intese come prelievo di acqua, sono preservate principalmente dalle zone di tutela assoluta e dalle zone di rispetto.

Infatti la zona di tutela assoluta è "l'area immediatamente circostante le derivazioni" [...] "in caso di acque sotterranee e, ove possibile, di acque superficiali, deve avere un'estensione di almeno dieci metri di

⁷ Piano di Tutela delle Acque (P.T.A.) della Regione Veneto.

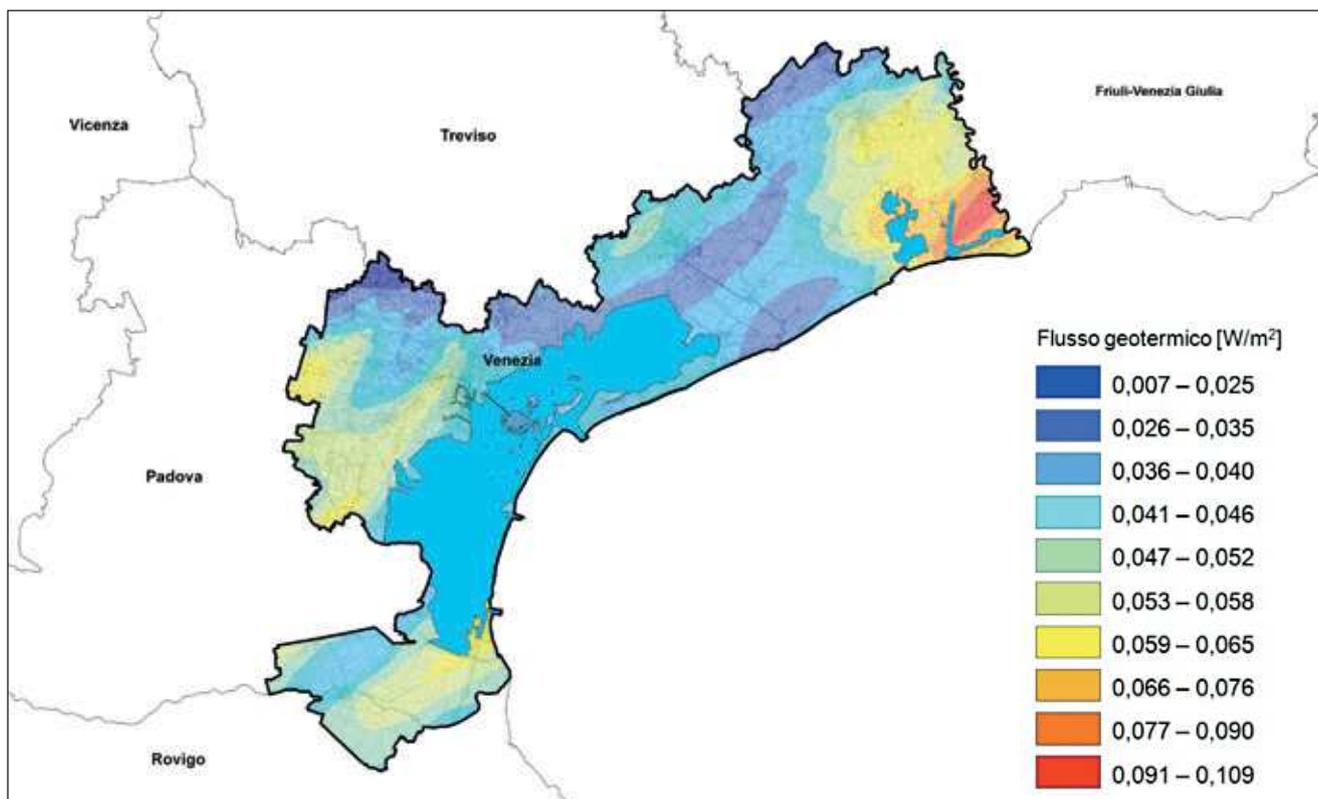


Fig. 13.9 - Carta del flusso geotermico.

raggio dal punto di captazione, deve essere adeguatamente protetta e deve essere adibita esclusivamente a opere di presa e ad infrastrutture di servizio". La zona di rispetto è invece la "porzione di territorio circostante la zona di tutela assoluta da sottoporre a vincoli e destinazioni d'uso tali da tutelare qualitativamente e quantitativamente la risorsa idrica e può essere suddivisa in zona di rispetto ristretta e zona di rispetto allargata, in relazione alla tipologia di opera di presa e alla situazione locale di vulnerabilità e rischio della risorsa" (Art. 6 P.T.A.). Nel PTA si identifica, per ogni bacino idrogeologico, la profondità e lo spessore delle falde da sottoporre a tutela (Fig. 13.11). In questo elaborato viene rappresentata l'ubicazione delle falde protette suddivise per territorio comunale e si indica la loro profondità rispetto al piano campagna, poiché potrebbero essere interessate da impianti di prelievo delle risorse geotermiche che raggiungono tipicamente profondità di un centinaio di metri. Nonostante non ci sia un vero e proprio prelievo di acqua è necessario garantire le caratteristiche di potabilità delle acque non alterandone nessun parametro (la temperatura dell'acqua potrebbe subire variazioni durante l'estrazione di energia geotermica; ecco quindi che il parametro temperatura potrebbe non

rimanere quello indicato nell'indice di potabilità). La Provincia di Venezia esibisce due sole aree comunali in cui sono presenti falde in salvaguardia, nei comuni di Scorzè e Noale (Tab. 13.1). Le falde in protezione si trovano tra 20 e 60 m e tra 280 e 380 m. Gli altri punti indicati nella Fig. 13.10 si riferiscono alle captazioni a uso acquedottistico. Nell'art. 94 del D.Lgs. n° 152/2006 (Disciplina delle aree di salvaguardia delle acque superficiali e sotterranee destinate al consumo umano), al comma 6 si riporta:

"In assenza dell'individuazione da parte delle regioni o delle province autonome della zona di rispetto ai sensi del comma 1, la medesima ha un'estensione di 200 metri di raggio rispetto al punto di captazione o di derivazione".

Tale indicazione si deve intendere pertanto per ogni tipo di captazione. In Fig. 13.11 si mostra l'area di rispetto di raggio pari a 200 m per un punto di captazione a scopo acquedottistico su CTR in scala 1:50.000.

All'interno delle aree di protezione si prevede la possibilità di installazione di impianti di geoscambio purché venga effettuato uno studio specifico di carattere idrogeologico che provi la non interferenza termica con i livelli acquiferi sottoposti a tutela.

NOME del COMUNE	Sup. ha	ATO	Prof. dal p.c. (m)
Noale	2435,74	Laguna di Venezia	20-60, 280-380
Scorzè	3334,95	Laguna di Venezia	20-60, 280-380

Tab. 13.1 - Comuni nei quali si trova almeno un pozzo di monitoraggio per le falde da sottoporre in tutela.

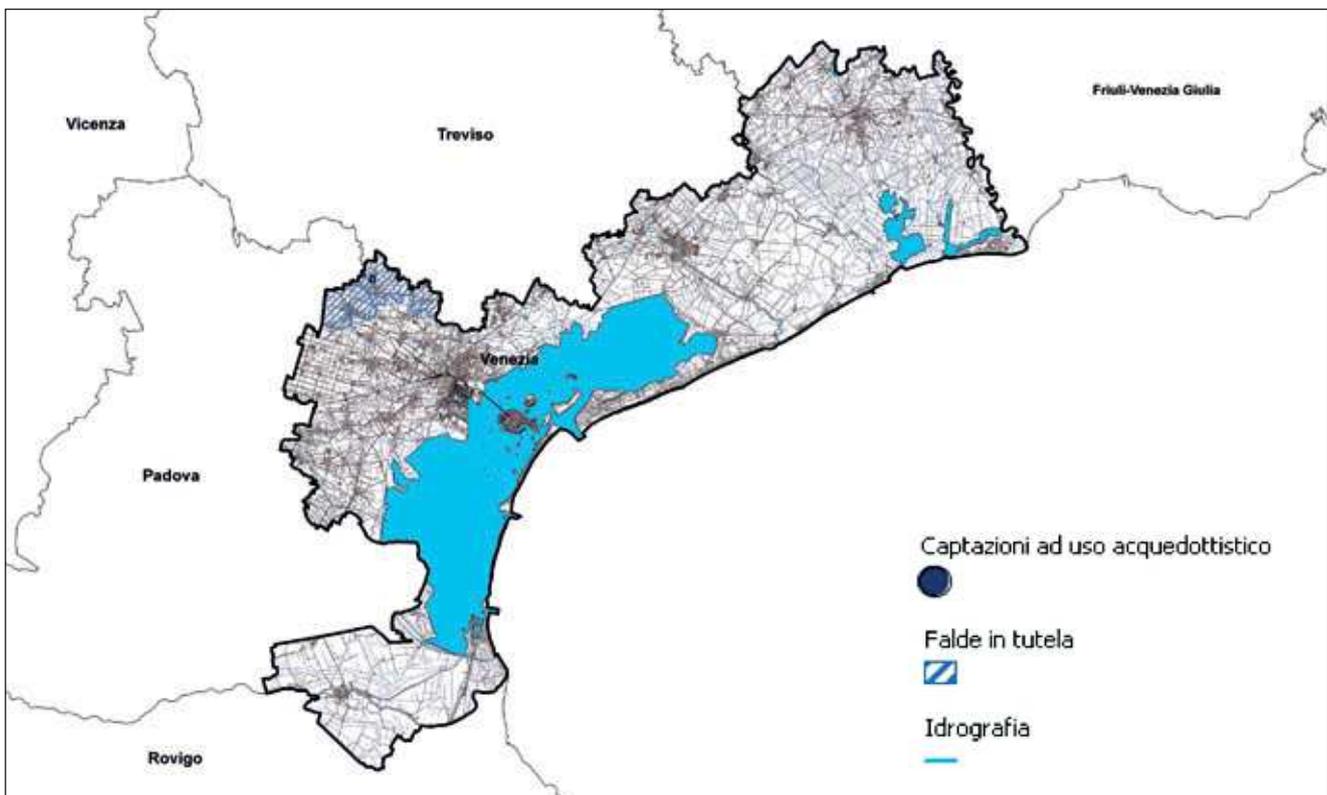


Fig. 13.10 - Le aree di salvaguardia.

13.8. IL GRADIENTE DI TEMPERATURA E LA CONDUCIBILITÀ TERMICA.

Dalle analisi effettuate sulla sensitività dei parametri si è giunti alla conclusione che i parametri da valutare per la carta di sintesi sono la conducibilità termica e il gradiente di temperatura.

La loro distribuzione si può osservare nelle Figg. 13.6 e 13.7. Poiché i valori di tali grandezze non sono confrontabili tra di loro è necessario normalizzarli al valore massimo di entrambi.

Ciò significa che si dividono tutti i valori del gradiente geotermico per il massimo valore da esso assunto, ovvero $0,058^{\circ}\text{C}/\text{m}$, e tutti i valori della conducibilità termica per il valore massimo, ovvero $2,07 \text{ W}/\text{mK}$.

I valori dei due parametri si possono confrontare tra di loro e calcolare così il potenziale di geoscambio.

Il potenziale di geoscambio è stato ottenuto dalla combinazione dei parametri di conducibilità e di gradiente termici.

Si è scelto di normalizzare anche i valori del potenziale di geoscambio per poter disporre di una carta di facile interpretazione in cui sono indicate:

- col colore rosso le aree a bassissima capacità di geoscambio;
- col colore arancio quelle a scarsa capacità di geoscambio;
- col colore giallo, quelle a buona capacità di geoscambio;
- col colore verde, quelle a ottima capacità di geoscambio.

Si osserva come la carta di idoneità al geoscambio risenta della maggior influenza del gradiente di

temperatura. Sono ben individuabili le aree a elevato gradiente, in verde, identificate con le aree di anomalia termica nota.

13.9. LA CARTA DI SINTESI

La carta di sintesi (Fig. 13.12 e Tav. 13 alla scala 1:100.000), come è stato detto più volte, può essere uno strumento utile per capire dove pianificare la costruzione di impianti che scambiano calore col terreno.

Si definisce idoneità al geoscambio l'attitudine del terreno a scambiare calore. È una definizione qualitativa che non dà nessun valore di riferimento, ma si limita a indicare zone di idoneità alta, media, bassa e scarsa.

La carta di sintesi deriva dalla combinazione delle tematiche indicanti le aree di salvaguardia e la carta dell'idoneità al geoscambio.

La carta delle aree di salvaguardia non definisce un potenziale sfruttabile, ma individua le aree in cui lo scambio termico nel sottosuolo può comportare dei pericoli nei confronti di livelli acquiferi pregiati.

Nella Fig. 13.13 si possono osservare, in colore rosso, i punti di captazione e i comuni in cui ricadono falde sottoposte a tutela. La carta di sintesi costituisce un prodotto di carattere qualitativo che si limita a differenziare zone a diversa idoneità allo scambio termico, e come tale può costituire uno strumento utile alle politiche di pianificazione territoriale a vari livelli, prevedendo eventuali politiche di sostegno o incentivanti nelle aree di maggiore attitudine o valutarne l'opportunità nelle aree di vincolo.

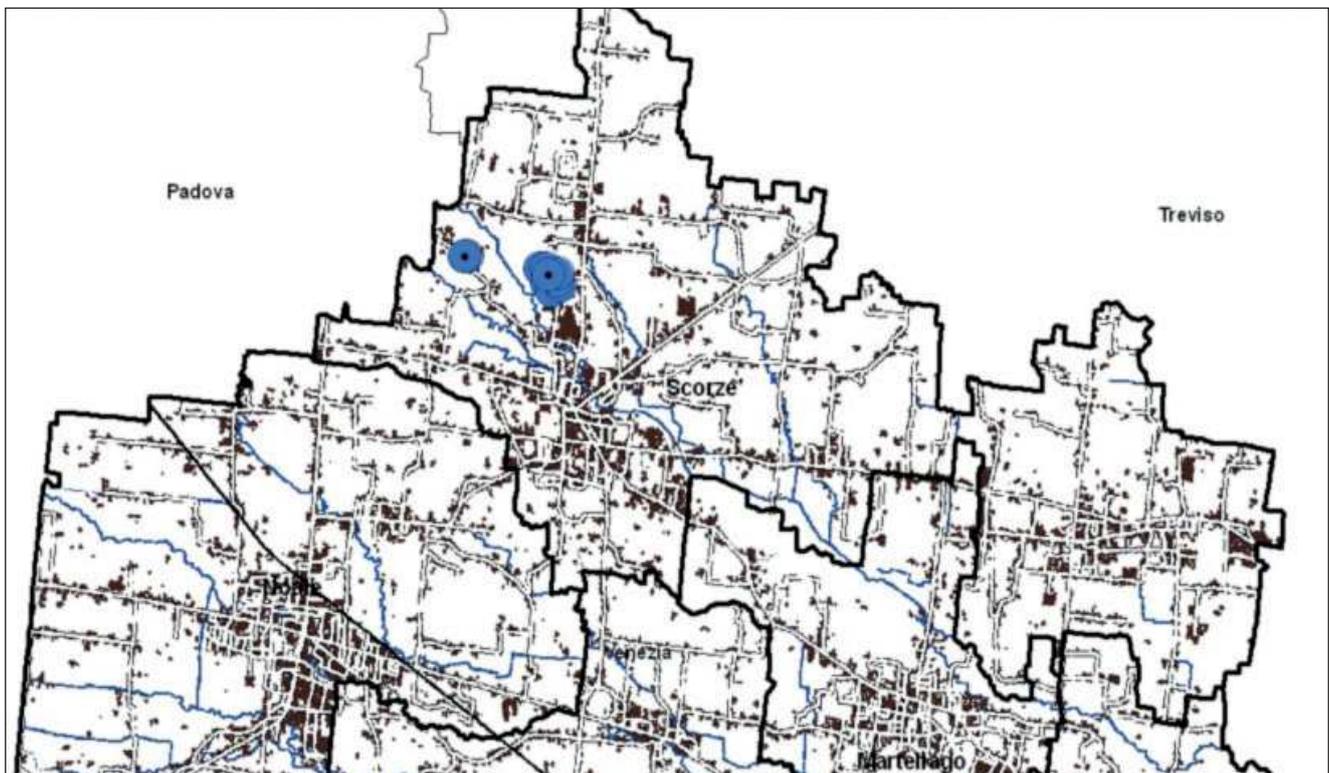


Fig. 13.11 - Identificazione dell'area di rispetto di 200 m intorno a un punto di captazione nel comune di Scorzé (scala 1:50 000 circa).

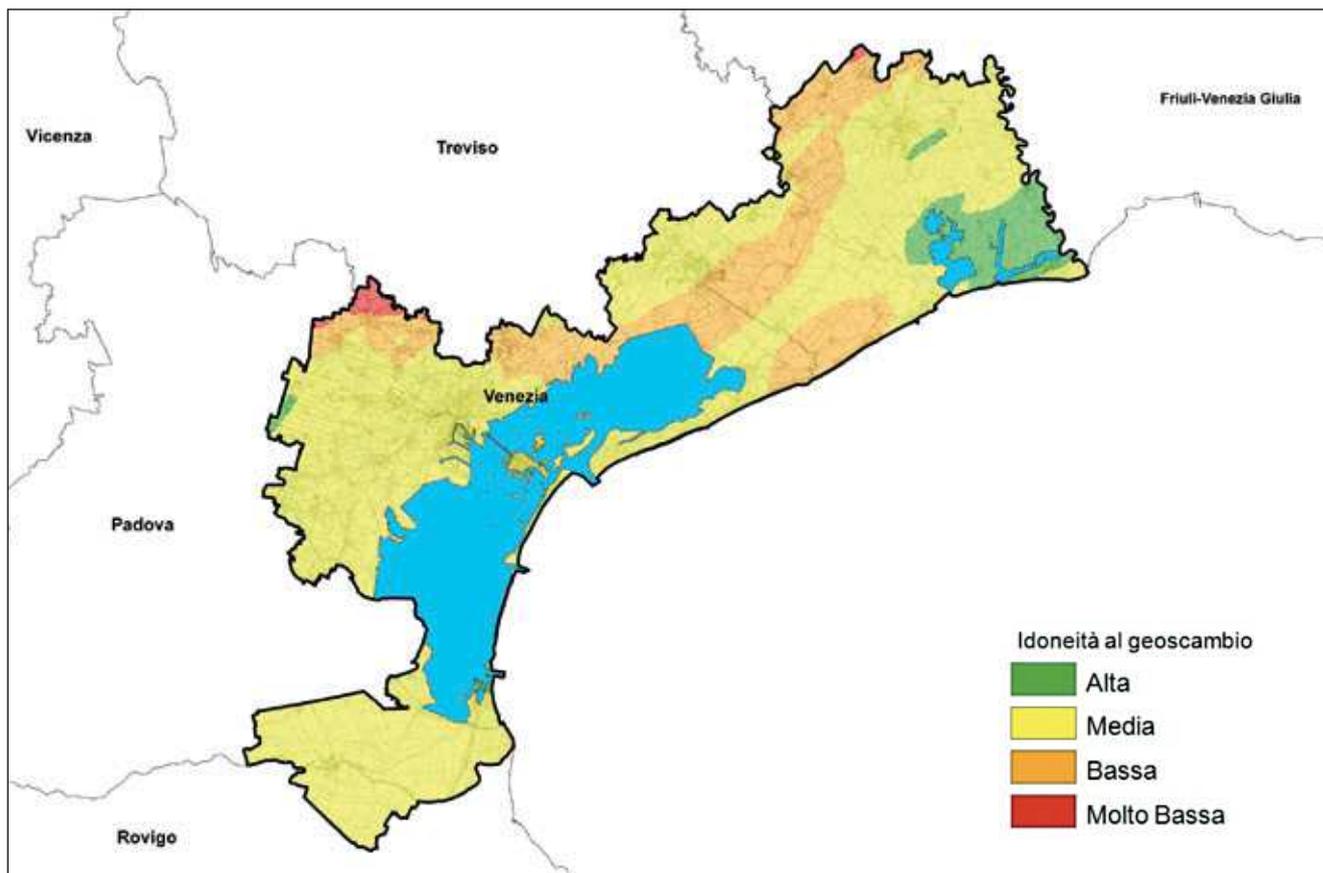


Fig.13.12 - Carta dell'idoneità al geoscambio.

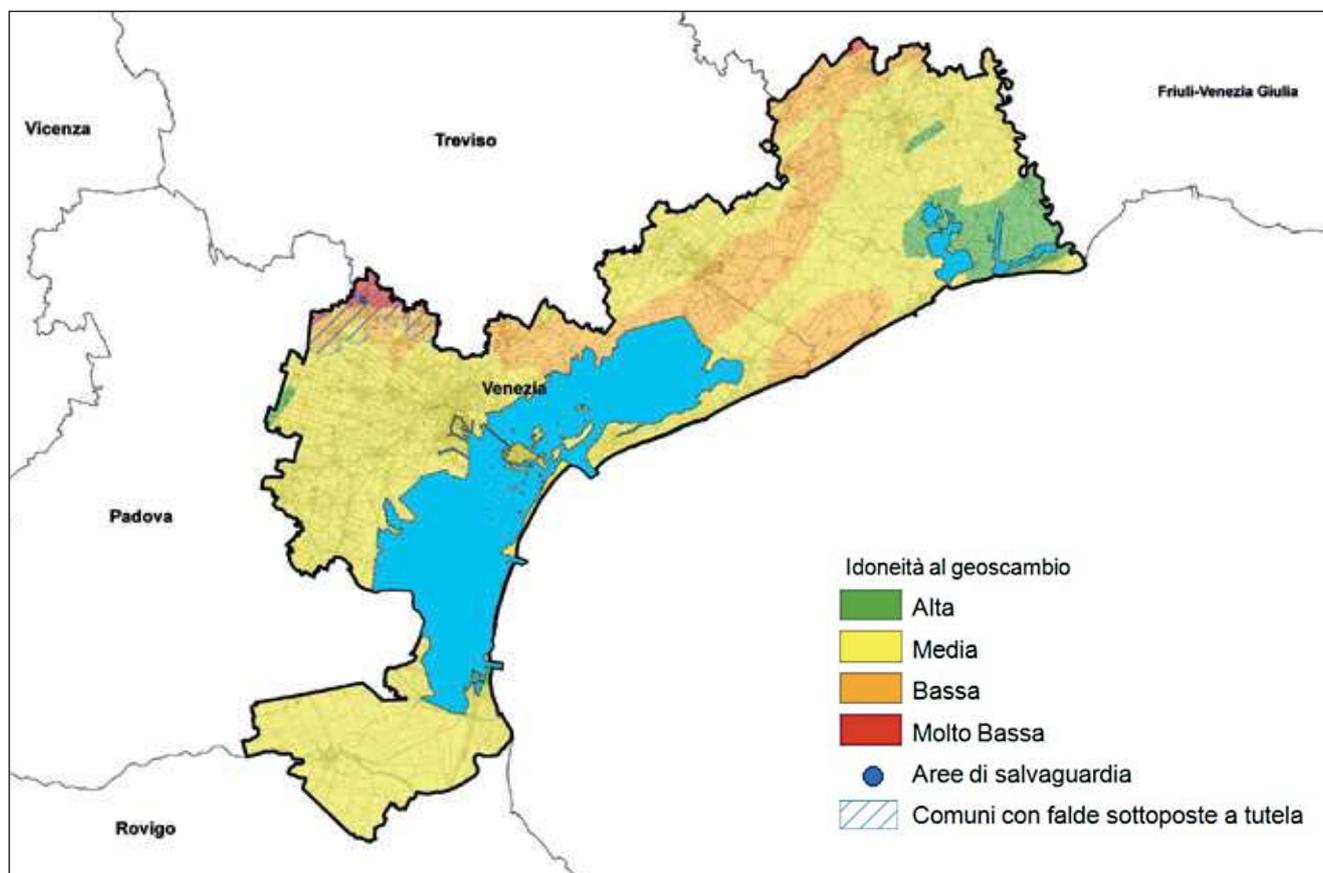


Fig. 13.13 - Carta di sintesi o carta dell'idoneità al geoscambio con falde sottoposte a tutela.

14 VULNERABILITÀ

PIETRO ZANGHERI¹, ANDREA MAZZUCATO²

14.1. PREMESSA

La vulnerabilità intrinseca degli acquiferi all'inquinamento (definita spesso, per sintesi, col solo termine di "vulnerabilità") indica la naturale facilità con cui gli stessi possono essere interessati da fenomeni di contaminazione causati da interventi antropici, mediante infiltrazione, propagazione e trasporto di inquinanti.

Come viene fatto usualmente nelle cartografie di vulnerabilità idrogeologica, l'acquifero analizzato è il primo (falda freatica o debolmente confinata, nel caso specifico, definibile come "superficiale").

Si tratta del primo corpo idrico sotterraneo a partire dal piano campagna che sia alloggiato in materiali con sufficiente grado di permeabilità e di porosità efficace che consentono una significativa portata estraibile (terreni da limoso-sabbiosi a ghiaiosi). Non si considerano quindi come falda i corpi idrici sotterranei inclusi nei terreni poco permeabili o prevalentemente impermeabili.

L'interesse per la vulnerabilità intrinseca della prima falda, nella specifica situazione ambientale del territorio veneziano, deriva in particolare dal fatto che si tratta della falda direttamente in contatto con molte attività antropiche e in comunicazione con la rete scolante superficiale.

La carta è stata prodotta utilizzando il metodo SINTACS, che prevede:

- la realizzazione di una serie di carte tematiche intermedie;
- realizzazione della cartografia di sintesi con la zonazione del territorio secondo la classificazione SINTACS (sei classi di vulnerabilità).

La carta è stata inizialmente realizzata in relazione a quanto richiesto dalla D.G.R.V. n° 615/96 "Metodica unificata per l'elaborazione della cartografia relativa all'attitudine dei suoli allo spargimento dei liquami zootecnici (PRRA, Allegato D, art. 3)" e in seguito con obiettivi più vasti di applicazioni a tematiche idrogeologiche e ambientali a scala provinciale.

Essa viene qui presentata nella cartografia di Tav. 12 in scala 1:100.000; vi sono inoltre riportate, in scala ridotta, le cartografie tematiche intermedie descritte in questo capitolo. Da rilevare che, data la densità di dati disponibili, la carta ha scala nominale di 1:50.000³, che è la tipica scala adatta alla pianificazione territoriale provinciale; non è quindi accettabile una sua applicazione per elaborazioni a scale di maggiore dettaglio.

14.2. METODOLOGIA

14.2.1 Fasi di lavoro

Sinteticamente il lavoro è stato svolto secondo queste fasi successive.

- a) Raccolta e analisi critica dei dati geologici e idrogeologici disponibili presso gli archivi (prevalentemente informatizzati tramite G.I.S.) della Provincia di Venezia, con particolare riguardo all'archivio informatizzato delle prove geognostiche⁴ e a cartografie tematiche del territorio provinciale.
- b) Realizzazione di cartografie rappresentanti i seguenti parametri (previsti dal metodo SINTACS⁵):
 - S:** *Soggiacenza della falda*
 - I:** *Infiltrazione efficace*
 - N:** *effetto di autodepurazione del Non saturo*
 - T:** *Tipologia della copertura (litologia di superficie)*
 - A:** *caratteristiche idrogeologiche dell'Acquifero*
 - C:** *Conducibilità idraulica (permeabilità) stimata dell'acquifero*
 - S:** *acclività della Superficie topografica*
- c) Elaborazione informatizzata (tramite strumenti G.I.S.) delle carte mediante l'uso di *software* e strumenti informatici disponibili presso il Servizio Geologico provinciale.
- d) Calcolo dei punteggi secondo il metodo SINTACS e definizione del grado di vulnerabilità secondo la suddivisione in sei classi.
- e) Costruzione informatizzata, tramite *overmapping*⁶, della Carta della vulnerabilità intrinseca all'inquinamento⁷.

L'intero lavoro è stato realizzato utilizzando strumenti G.I.S. per cui sarà possibile in futuro, in presenza di nuovi dati, produrre ulteriori aggiornamenti.

¹ Geologo - Studio Tecnico Zangheri & Basso - Padova - www.progettazioneambientale.it

² Geologo - Provincia di Venezia - Servizio Geologico e Difesa del Suolo

³ La scala di lavoro è stata generalmente quella di 1:20.000 (utilizzando come base la C.T.R., su supporto cartaceo o magnetico a seconda della tipologia del dato). L'elaborazione finale però, tenuto conto del diverso grado di dettaglio ottenuto per i diversi livelli informativi, è considerabile valida solo alla scala 1:50.000.

⁴ Vedi anche il capitolo 5 "Banche dati" e la Tav. 7.

⁵ Le iniziali dei sette parametri (S-I-N-T-A-C-S) formano l'acronimo che dà il nome al sistema di calcolo della vulnerabilità.

⁶ Sovrapposizione di più cartografie con la stessa scala.

⁷ L'*overmapping* è stato effettuato alla scala 1:20.000.

L'area cartografata ha caratteristiche idrogeologiche peculiari, quale quella di essere in gran parte al di sotto del livello del mare⁸ e con circolazione idrica in molte parti artificiale perché legata alle idrovore⁹. Si sottolinea che in letteratura si sono reperiti pochi esempi di realizzazione di cartografie della vulnerabilità in aree con caratteristiche analoghe.

14.2.2 Modello di calcolo per il metodo SINTACS

Il metodo SINTACS è un "Point Count System Model", ovvero un sistema parametrico a punteggi e pesi. Prevede la quantificazione in tutto il territorio dei seguenti sette parametri idrogeologici: soggiacenza, infiltrazione efficace, effetto di autodepurazione del non saturo, tipologia della copertura, caratteristiche idrogeologiche dell'acquifero, conducibilità idraulica del mezzo saturo e acclività della superficie topografica.

Per ciascun parametro, attraverso l'uso di appositi diagrammi di confronto, viene assegnato un *punteggio* (da 1 a 10) crescente con la vulnerabilità.

I punteggi relativi ai sette parametri cartografati vengono in seguito moltiplicati per un *peso* correlato a situazioni ambientali e/o antropiche dell'area.

Il sistema SINTACS in particolare prevede cinque situazioni ambientali a cui è possibile attribuire tale peso correttivo:

- ordinaria;
- fonti diffuse;
- drenaggio;
- carsismo;
- fratturato.

La determinazione finale dell'indice SINTACS di vulnerabilità intrinseca risulta dalla sommatoria del prodotto dei singoli punteggi per i diversi pesi secondo la relazione:

$$I_{\text{sintacs}} = \sum_{i=1}^7 (\text{punteggio parametro}(i) * \text{peso}(i))$$

L'indice complessivo può assumere valori compresi tra 23 e 260; tale scala, tuttavia, può essere normalizzata a 100 come indicato nella Tab. 14.1.

Classi di vulnerabilità	Intervallo sintacs	Intervallo sintacs normalizzato
Bassissima	0 - 80	0 - 24
Bassa	81 - 105	25 - 35
Media	106 - 140	36 - 49
Alta	141 - 186	50 - 69
Elevata	187 - 210	70 - 79
Elevatissima	211 - 260	80 - 100

Tab. 14.1 - Classi di vulnerabilità e punteggi previsti dal metodo SINTACS.

14.3. ARCHIVI INFORMATIZZATI SU SUOLO E SOTTOSUOLO

14.3.1 Generalità

Come già accennato, le carte tematiche esposte nei paragrafi successivi si basano su una serie di banche dati informatizzate su suolo e sottosuolo progettate, realizzate e costantemente aggiornate da oltre 20 anni dal Servizio Geologico provinciale, che sono state espressamente descritte nel capitolo 5.

Tra le banche dati utilizzate si cita in particolare quella geologico-stratigrafica relativa alle prove geognostiche (nel seguito: banca dati stratigrafica), le cui ubicazioni sono rappresentate nella Tav. 7.

Nel caso specifico dell'idrogeologia di un territorio di pianura, particolare rilevanza hanno le stratigrafie di sondaggio. Infatti, considerate le caratteristiche dell'area, molte delle elaborazioni effettuate si basano *in primis* su dati geologico-stratigrafici ricavati da perforazioni.

14.4. VALUTAZIONE DELLE CLASSI DI VULNERABILITÀ TRAMITE LO SCHEMA DI CALCOLO SINTACS - ANALISI E CARTOGRAFIA DEI PARAMETRI IN INGRESSO

Nel seguito si presentano i dati raccolti e la metodica di elaborazione dei dati utilizzati per realizzare le sette cartografie previste dal sistema parametrico SINTACS.

Ciascuna delle sette cartografie realizzate è disponibile in formato G.I.S. nel sito *web* del Servizio Geologico provinciale (<http://difesasuolo.provincia.venezias.it>).

14.4.1 Soggiacenza della falda

La profondità dell'acquifero (soggiacenza) influisce sulla capacità dell'insaturo a trattenere le particelle di inquinante e quindi a impedire la propagazione dello stesso nell'acquifero.

All'aumentare della profondità della falda si ha una diminuzione nel punteggio da attribuire, in quanto risulta superiore l'effetto di depurazione attraverso l'insaturo.

Il dato di interesse non è sempre la quota piezometrica della prima falda, ma la profondità cui si trova fisicamente l'acqua nel sottosuolo (spesso la falda è prevalente rispetto al tetto dell'acquifero)¹⁰.

Non si è comunque considerata come falda l'acqua di impregnazione presente nei livelli argillosi e limosi.

Per la realizzazione della carta della soggiacenza della falda si sono effettuate le seguenti elaborazioni propedeutiche:

⁸ Vedi anche il capitolo 1 "Microrilievo" e la Tav. 1.

⁹ Vedi anche il capitolo 4 "Idrografia e bonifica idraulica" e la Tav. 5.

¹⁰ Si veda in proposito il capitolo 12 "Idrogeologia" e, in particolare, la scheda relativa all'indagine effettuata sulla prima falda del portogruarese nell'ambito della zona a D.O.C. di Lison - Pramaggiore.

- mappa della profondità dal piano campagna del tetto del primo acquifero;
- mappa della prevalenza della falda;
- mappa della percentuale di sabbia presente tra 1 e 5 m di profondità dal piano campagna.

Dall'analisi e dalla sintesi di queste tre mappe è stata ricavata la carta della soggiacenza della falda.

Partendo dalla citata banca dati stratigrafica del Servizio Geologico provinciale, attraverso una serie di selezioni (*query*) si sono estrapolati, per ogni sondaggio (a esclusione di quelli effettuati per pozzi idrici e di alcuni altri poco significativi), tutti gli strati (*record*) con le seguenti caratteristiche (requisiti cioè affinché uno strato potesse essere considerato un acquifero e, quindi, sede di una potenziale falda):

- spessore maggiore di 1 m;
- quantità di sabbia uguale al 50% o maggiore¹¹.

Questo tipo di selezioni è stato possibile perché a ogni singolo strato archiviato nella banca dati stratigrafica del Servizio Geologico provinciale è stato associato un opportuno codice che ne descrive il litotipo prevalente, permettendo in questo modo di standardizzare le informazioni relative alla composizione granulometrica dello stesso. Si rinvia al capitolo 5 per maggiori dettagli.

Di tutti questi livelli sono stati successivamente selezionati quelli che, per ogni sondaggio, avevano la minima profondità del tetto.

In questo modo si è ottenuta una tabella contenente, per ogni sondaggio che aveva almeno un livello con i requisiti richiesti, le coordinate di riferimento e la profondità del tetto del primo livello di sabbia.

A questi sondaggi sono stati aggiunti quelli che erano rimasti esclusi perché non avevano i requisiti richiesti; sono stati perciò considerati privi di falda fino a 4 m di profondità.

Sono stati così ottenuti 6378 sondaggi che sono stati suddivisi in cinque classi a seconda della profondità del tetto del primo livello di sabbia; la profondità è sempre riferita al piano campagna.

- classe A: da 0 a 1 m;
- classe B: da 1 a 2 m;
- classe C: da 2 a 3 m;
- classe D: da 3 a 4 m;
- classe E: oltre 4 m.

Nella Fig. 14.1 vengono visualizzati i sondaggi suddivisi in base alla profondità del tetto del primo acquifero.

¹¹ E' stata esclusa la classe "argilla e sabbia".

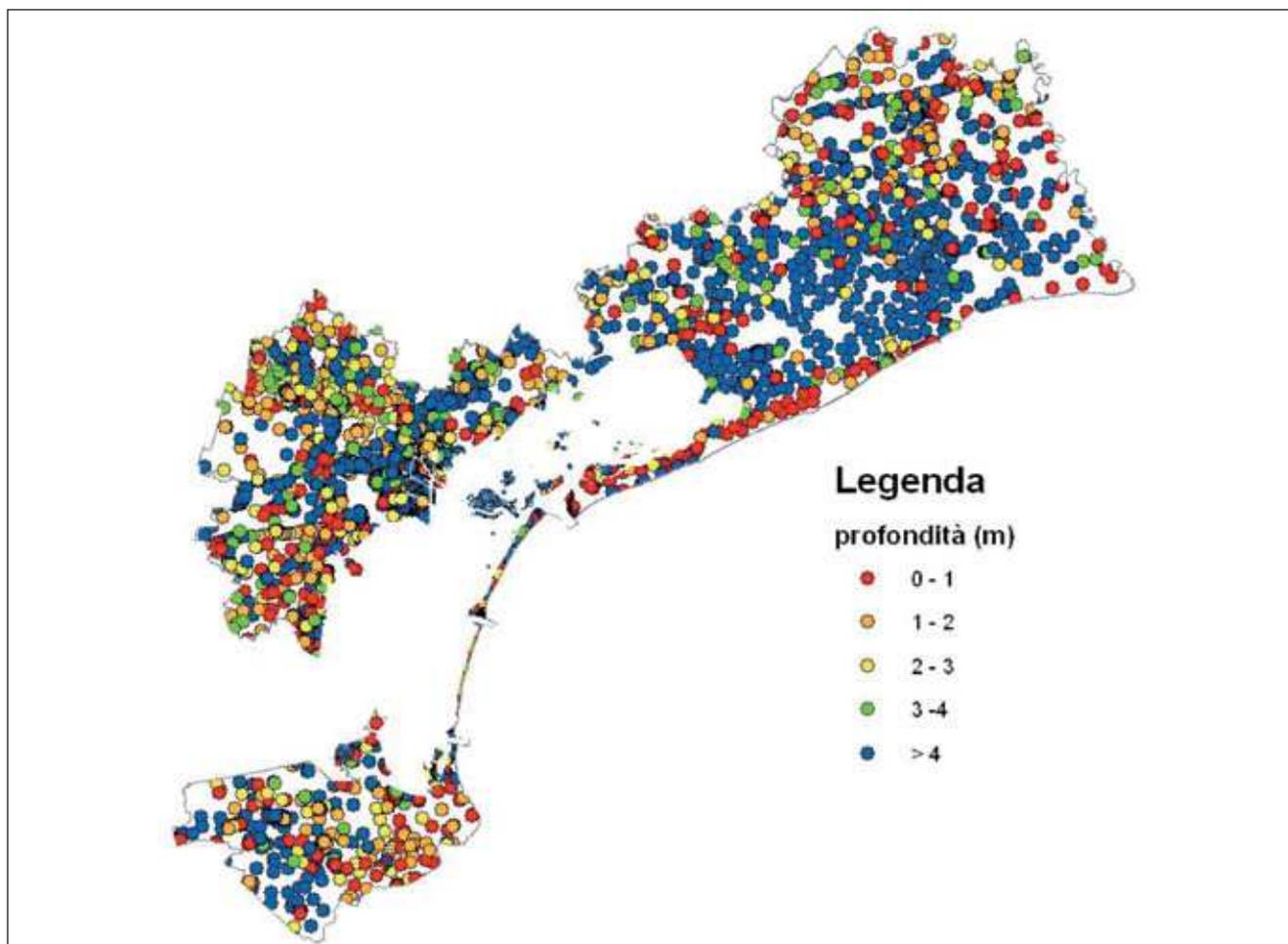


Fig. 14.1 - Sondaggi suddivisi in base alla profondità del tetto del primo acquifero.

Dall'interpolazione (*kriging* ordinario) di questi punti è stata ricavata una carta (Fig. 14.2) che rappresenta il tetto del primo acquifero.

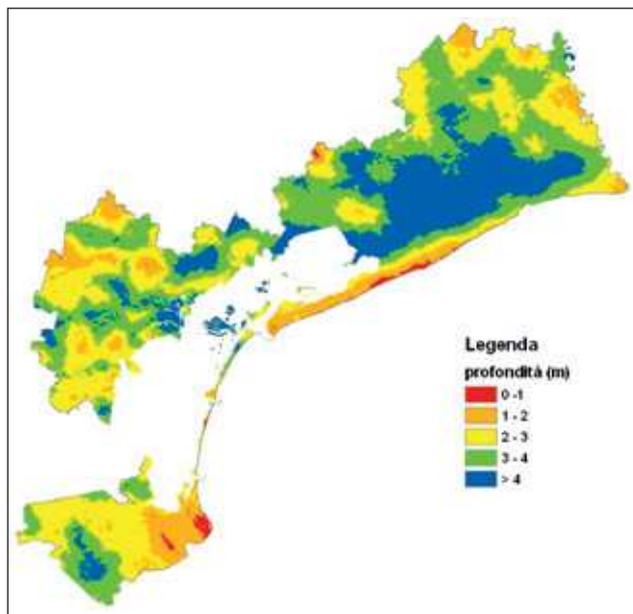


Fig. 14.2 - Tetto del primo acquifero ottenuta per interpolazione (*kriging* ordinario).

E' stato così possibile creare una carta utilizzando la suddivisione nelle cinque classi sopracitate. E' stato quindi possibile stabilire, attraverso un *overlay mapping*, dove la falda è prevalente (risaliente) rispetto al tetto dell'acquifero, dove è coincidente e dov'è soggiacente il tetto dell'acquifero.

Risulta che la falda è quasi sempre prevalente rispetto al tetto dell'acquifero, e quindi debolmente confinata. Solo lungo il litorale e in alcune aree dell'entroterra (ossia dove l'acquifero è più superficiale) la falda coincide con il tetto dell'acquifero. Anche da un ulteriore confronto tra le misure del livello di falda effettuate durante l'esecuzione dei sondaggi (archivate nella banca dati stratigrafica provinciale) e la profondità del tetto dell'acquifero (Fig. 14.3) si ottiene lo stesso risultato.

Infine, è stata realizzata la carta della percentuale di sabbia presente tra 1 e 5 metri di profondità (Fig. 14.5).

E' stato escluso il primo metro perché risulta già preso in considerazione nelle successive carte di sintesi "infiltrazione del non saturo" e "tipologia della copertura". Dalla citata banca dati stratigrafica sono stati quindi selezionati tutti i sondaggi (a esclusione

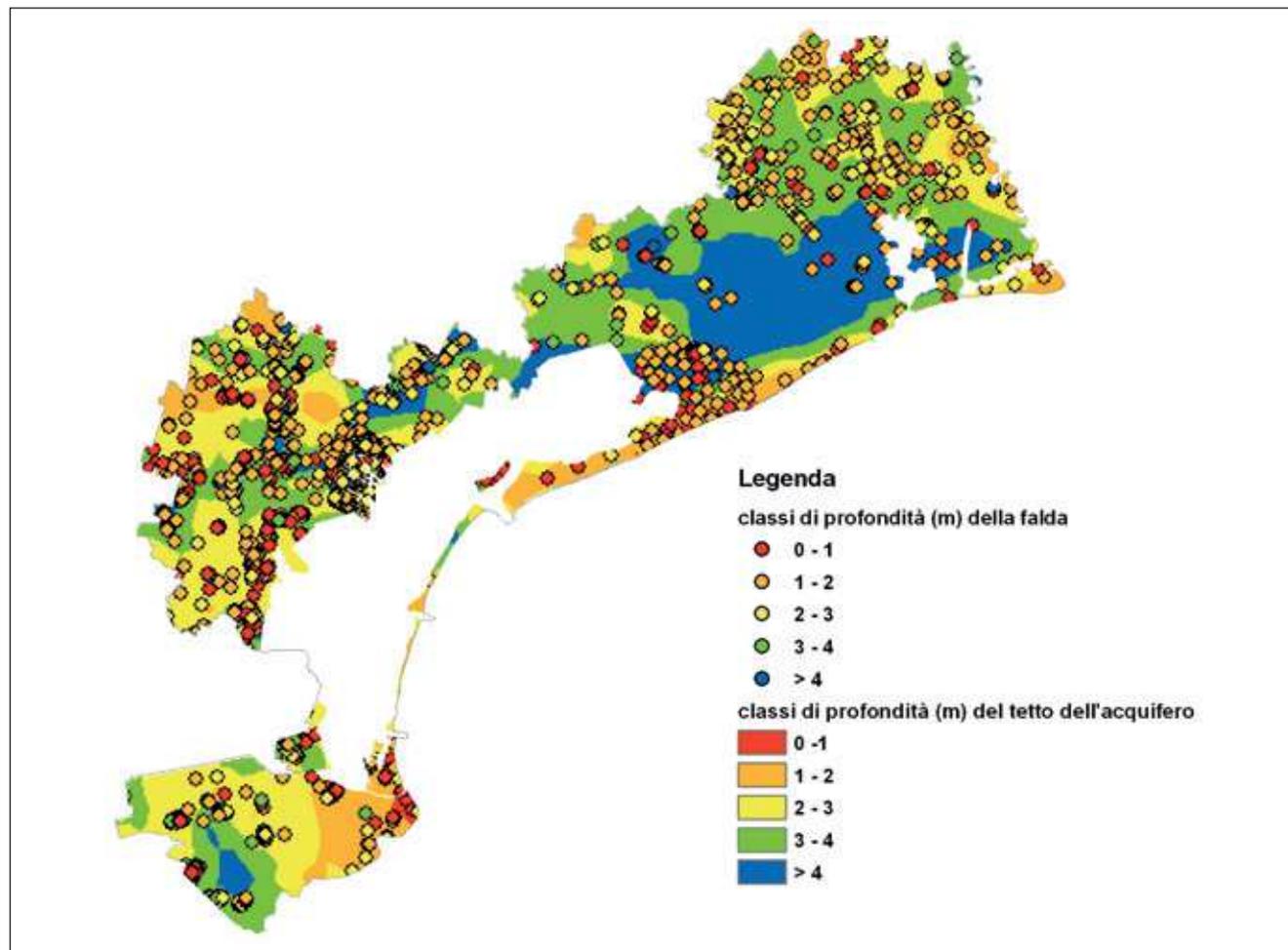


Fig. 14.3 - Confronto tra la profondità della falda misurata in fase di esecuzione dei sondaggi archiviati nella banca dati provinciale e la profondità del tetto dell'acquifero.

di quelli effettuati per pozzi idrici e di alcuni altri poco significativi) profondi almeno 5 m e tutti gli strati compresi tra 1 e 5 m (letto > 1 m e tetto < 5 m). Di ogni strato o frazione di strato è stato calcolato lo spessore in metri e lo spessore in percentuale rispetto allo spessore totale (4 m); inoltre, è stata assegnata la percentuale di sabbia come definita dal codice litologico; questa percentuale è stata poi ricalcolata

sullo spessore totale (4 m). La procedura di calcolo è esemplificata dalla Tab. 14.2. Sono stati così ottenuti 5036 sondaggi, a ognuno dei quali sono state associate le informazioni relative alle coordinate cartografiche e al contenuto percentuale di sabbia. Nella sottostante Fig. 14.4 vengono visualizzati i sondaggi suddivisi in base alla percentuale di sabbia.

ESEMPIO RELATIVO AD UN SINGOLO SONDAGGIO										
codice sondaggio	numero strato	profondità tetto	profondità letto	spessore	spessore strato o frazione di strato (m)		spessore strato (%)	codice litologico	sabbia%	tot-sabbia%
							spessore strato (m)/spessore totale (4 m) il tutto moltiplicato per 100		% granulometrica dipendente dal codice litologico. Ad ogni codice litologico è associata una % di sabbia	la % litologica reale per ogni singolo strato tiene conto dello spessore dello strato [sabbia% / 100] * [spessore strato %]
3734	2	0,90	1,50	0,60	0,50	letto - 1 m	12,50	3220	82,5	10,31
3734	3	1,50	1,80	0,30	0,30	uguale al campo spessore	7,50	3430	100	7,5
3734	4	1,80	2,00	0,20	0,20		5,00	3220	82,5	4,13
3734	5	2,00	2,40	0,40	0,40		10,00	3430	100	10
3734	6	2,40	2,60	0,20	0,20		5,00	3220	82,5	4,12
3734	7	2,60	4,10	1,50	1,50		37,50	3430	100	37,5
3734	8	4,10	4,70	0,60	0,60		15,00	1320	0	0
3734	9	4,70	4,90	0,20	0,20		5,00	1220	0	0
3734	10	4,90	5,60	0,70	0,10		5 m - tetto	2,50	1320	0
3734					4		100			73,56

Tab. 14.2 - Esempio di elaborazione di una stratigrafia al fine del calcolo della percentuale di sabbia presente tra 1 e 5 metri di profondità.

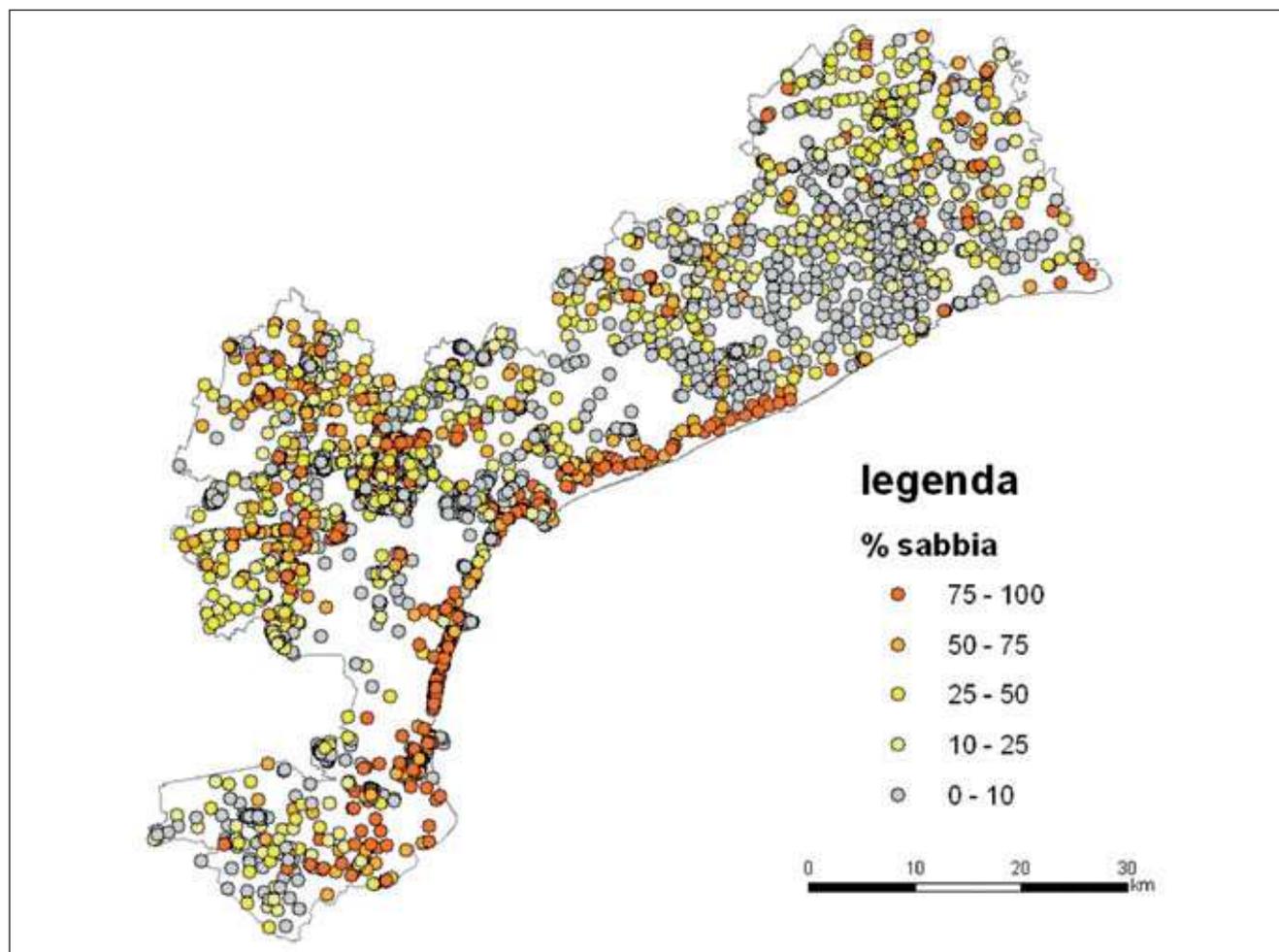


Fig. 14.4 - Sondaggi suddivisi in base alla percentuale di sabbia nell'intervallo 1÷5 m.

Dall'interpolazione (*kriging* ordinario) di questi punti è stata ricavata la carta (Fig. 14.5) che rappresenta la percentuale di sabbia presente tra 1 e 5 m di profondità dal piano campagna.

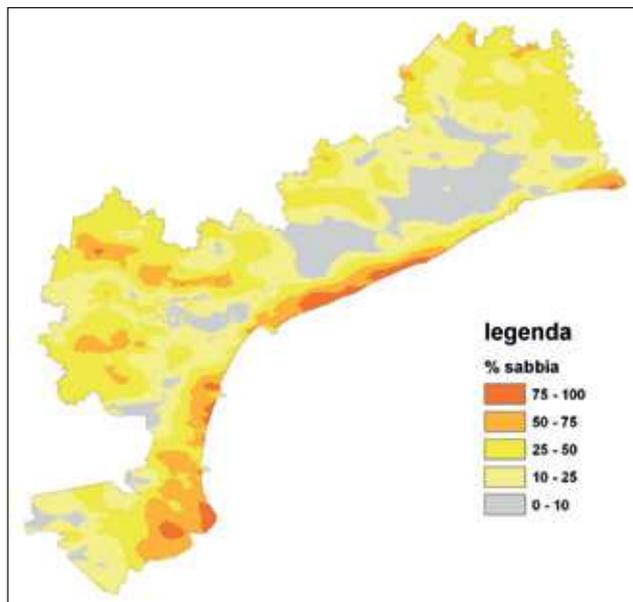


Fig. 14.5 - Carta della percentuale di sabbia presente tra 1 e 5 metri di profondità ottenuta tramite interpolazione (*kriging*).

Si può notare che le aree in questa carta con bassa percentuale di sabbia (inferiore cioè al 10 %) corrispondono sostanzialmente alle aree prive di acquifero nei primi 4 m presenti nella carta del tetto dell'acquifero (Fig. 14.6).

Essendo queste aree prive di acquifero nei primi 5 m di profondità dal piano campagna, si è ritenuto opportuno considerarle come tali nella carta della soggiacenza della falda.

Dalla verifica della carta del tetto dell'acquifero con le misure di falda nei sondaggi e le misure in pozzo (da cui comunque risulta quasi sempre prevalente o corrispondente al tetto dell'acquifero), dal confronto con alcune misure su piezometri localizzate in aree specifiche (Jesolo e litorale di Cavallino, Ca' Bianca di Chioggia e tra i comuni di Spinea e Martellago) presenti nella banca dati idrogeologica provinciale e con l'aggiunta delle aree prive di acquifero risultanti dalla mappa della percentuale di sabbia, è stato possibile ottenere la carta della soggiacenza della falda (Fig. 14.6).

Nella Tab. 14.3 sono riassunte le classi di soggiacenza utilizzate e i relativi punteggi assegnati per confronto con la successiva Fig. 14.7.

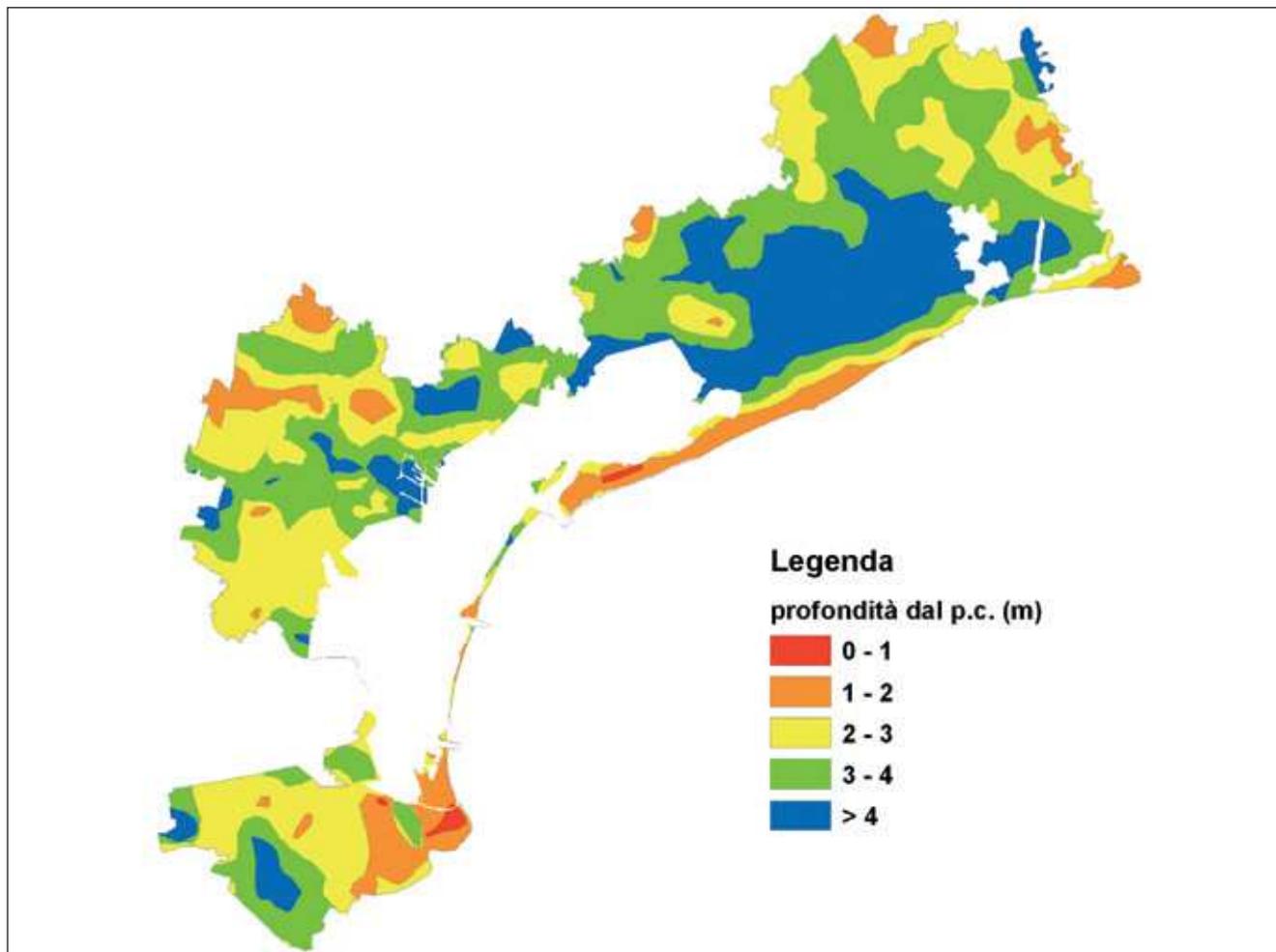


Fig. 14.6 - Carta della soggiacenza della falda.

CLASSI DI SOGGIACENZA E RELATIVI PUNTEGGI		
classe	soggiacenza (m)	punteggio
A	soggiacenza compresa tra il piano campagna e il primo metro	10
B	soggiacenza compresa tra 1 e 2 m	9,4
C	soggiacenza compresa tra 2 e 3 m	9
D	soggiacenza compresa tra 3 e 4 m	7,2
E	aree prive di sedimenti acquiferi fino a 4 m di profondità	6

Tab. 14.3 - Classi di soggiacenza della falda.

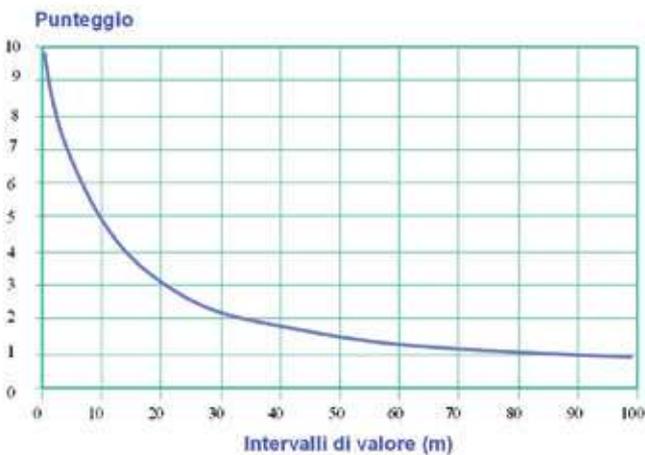


Fig. 14.7 - Valori della soggiacenza e relativi punteggi (da CIVITA, 1994).

Si ottiene infine la carta di Fig. 14.8 nella quale i punteggi vengono assegnati alle varie aree.

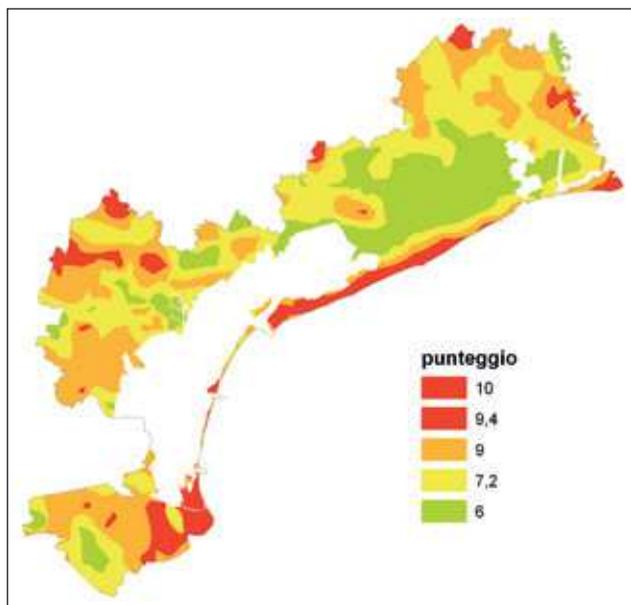


Fig. 14.8 - Punteggi per il parametro soggiacenza.

14.4.2 Infiltrazione efficace

L'*infiltrazione efficace* (I_e) rappresenta l'aliquota di pioggia che giunge all'acquifero e, di conseguenza, fornisce sia una stima dell'effetto di lisciviazione del sistema suolo - sottosuolo sia del trasporto in falda delle potenziali sostanze inquinanti.

Essa viene valutata in maniera indiretta, cioè come

pari alle precipitazioni medie annue moltiplicate per un fattore X definito come coefficiente di infiltrazione potenziale. Si tratta di un metodo empirico che supplisce all'impossibilità di realizzare misure di infiltrazione in situ in modo diffuso sull'intero territorio provinciale.

$$I_e = P_m * X$$

Le *precipitazioni medie annue* vengono indicate col simbolo P_m ; il *coefficiente d'infiltrazione potenziale X* è correlato alla tipologia di copertura e viene ricavato utilizzando il diagramma di Fig. 14.9.

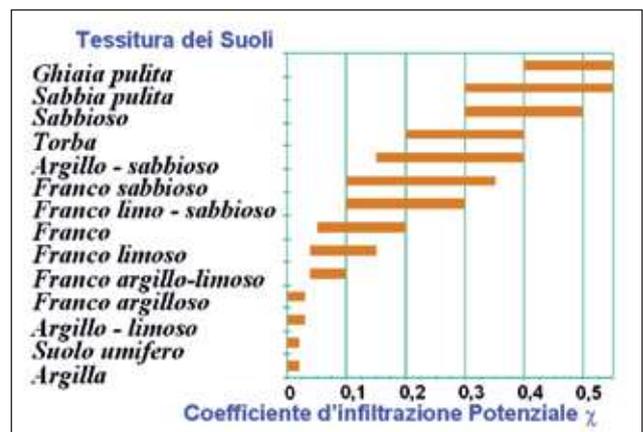


Fig. 14.9 - Grafico per il calcolo dell'infiltrazione media annua in funzione della litologia superficiale (da CIVITA, 1994).

Per ottenere quindi il valore dell'infiltrazione efficace è stato necessario ricavare i dati relativi alla tipologia di copertura (Fig. 14.10) e alla pluviometria.

Le granulometrie da inserire nel diagramma sovrastante sono state ricavate suddividendo i dati disponibili sulla copertura (visualizzati nella sottostante carta) in cinque classi di permeabilità, corrispondenti alle classi di permeabilità visualizzate nella Tab.14.4.

Categoria	Classi geolitologiche	Permeabilità (m/s)	Coefficiente di Infiltrazione
1	Litotipi permeabili	>10e-4	0,45
2	Litotipi permeabili	10e-5 - 10e-4	0,35
3	Litotipi semipermeabili	10e-6 - 10e-5	0,27
4	Litotipi semipermeabili	10e-7 - 10e-6	0,07
5	Litotipi semipermeabili	10e-8 - 10e-7	0,03

Tab. 14.4 - Coefficienti di infiltrazione in relazione al coefficiente di permeabilità del suolo.

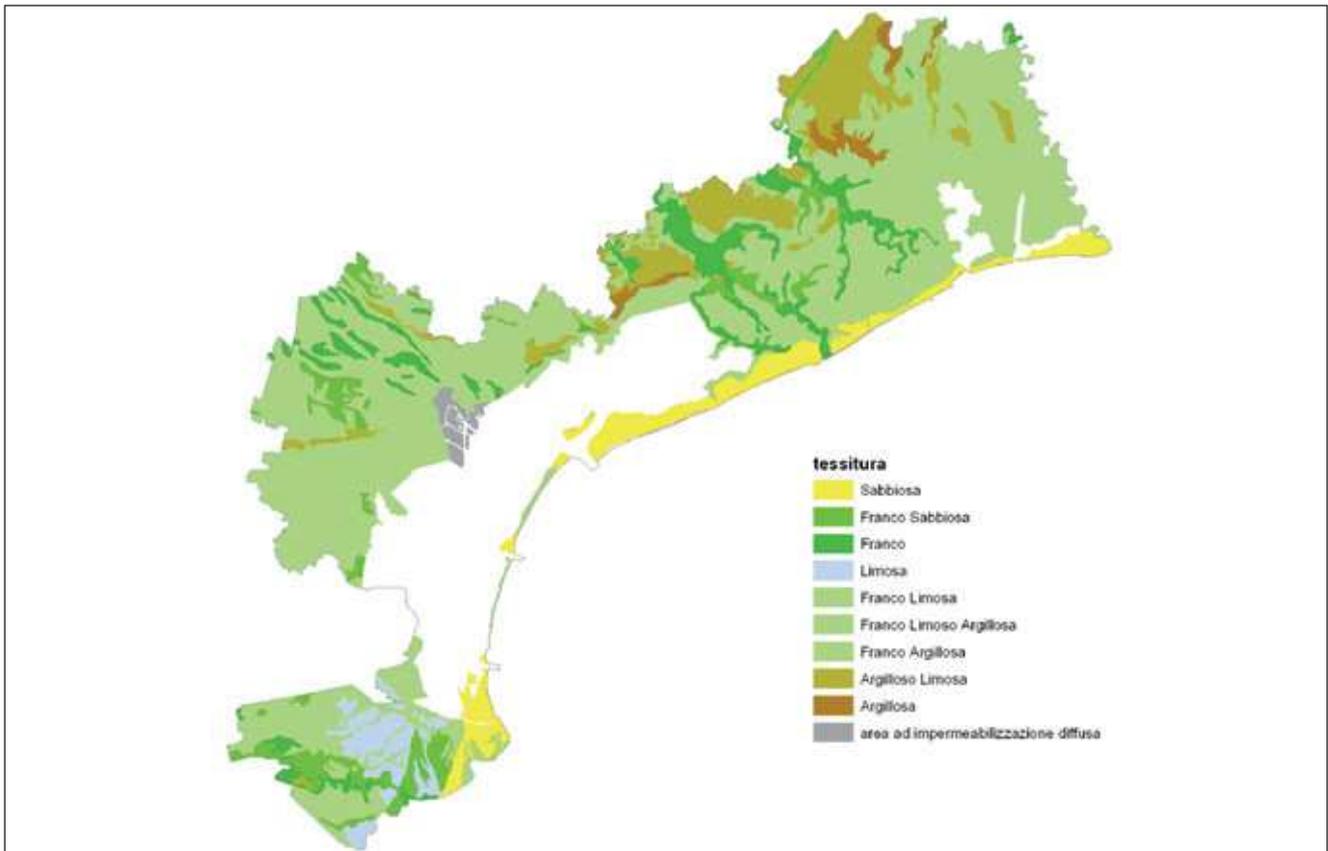


Fig. 14.10 - Carta della copertura (litologia di superficie).

La permeabilità è stata visualizzata nella carta di Fig. 14.11 accorparendo i litotipi permeabili in un'unica classe ($k > 10e-5$ m/s).

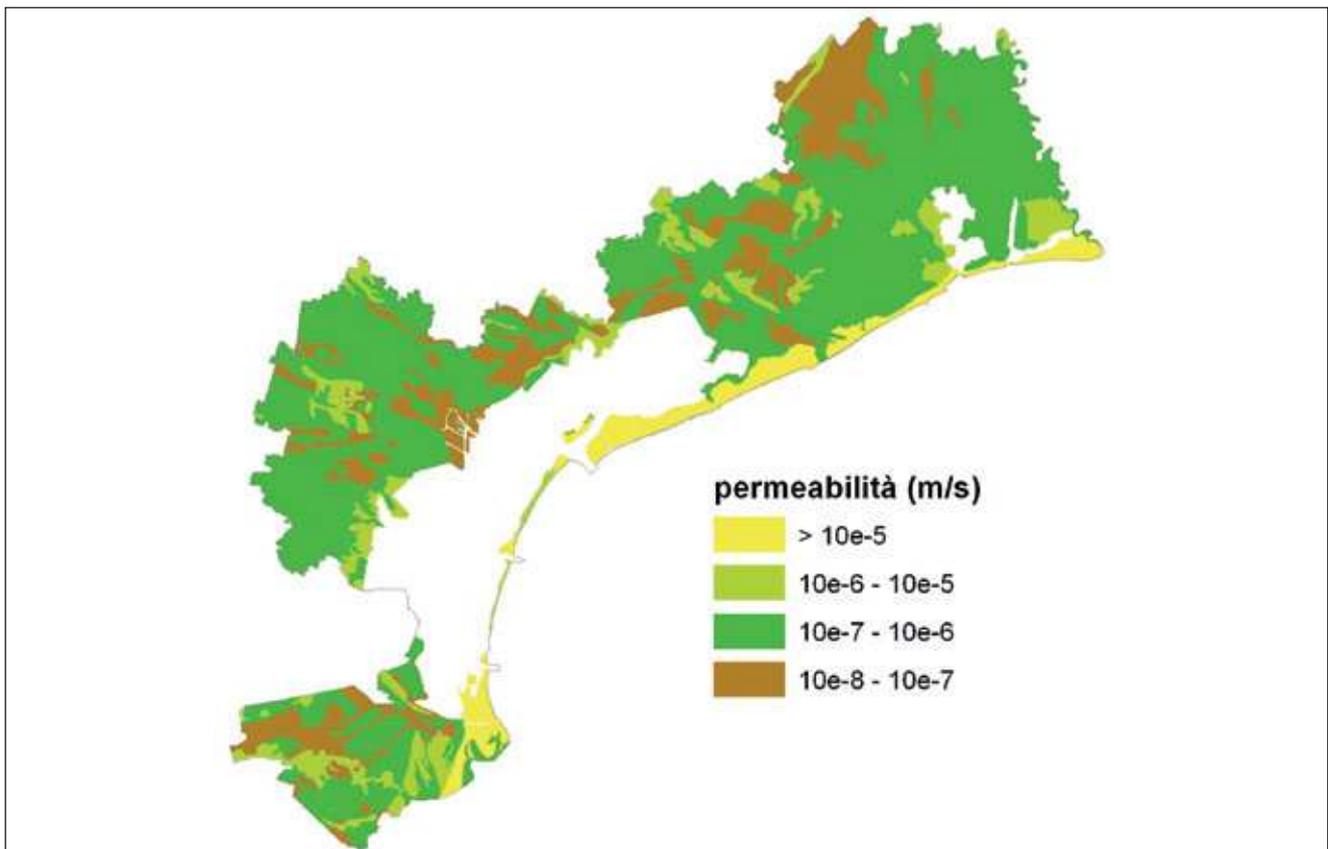


Fig. 14.11 - Carta della permeabilità di superficie ottenuta per riclassificazione della carta della litologia di superficie.

Relativamente ai valori di pluviometria sono stati utilizzati i dati di piovosità media annuale, suddivisi per comune, ottenuti dalla rete di monitoraggio gestita da ARPAV. I valori sono ufficialmente riportati nella D.G.R. 7 agosto 2006, n° 2495. "Approvazione dei criteri tecnici applicativi e della modulistica per la presentazione delle comunicazioni di spandimento e

dei piani di utilizzazione agronomica degli effluenti di allevamento - Allegato E1¹².

Nella precedente Tab. 14.4 sono riportati anche i coefficienti di infiltrazione X utilizzati; moltiplicando tali coefficienti per i valori della pluviometria si sono ottenuti i valori di infiltrazione efficace, rappresentati nella cartografia di Fig. 14.12.

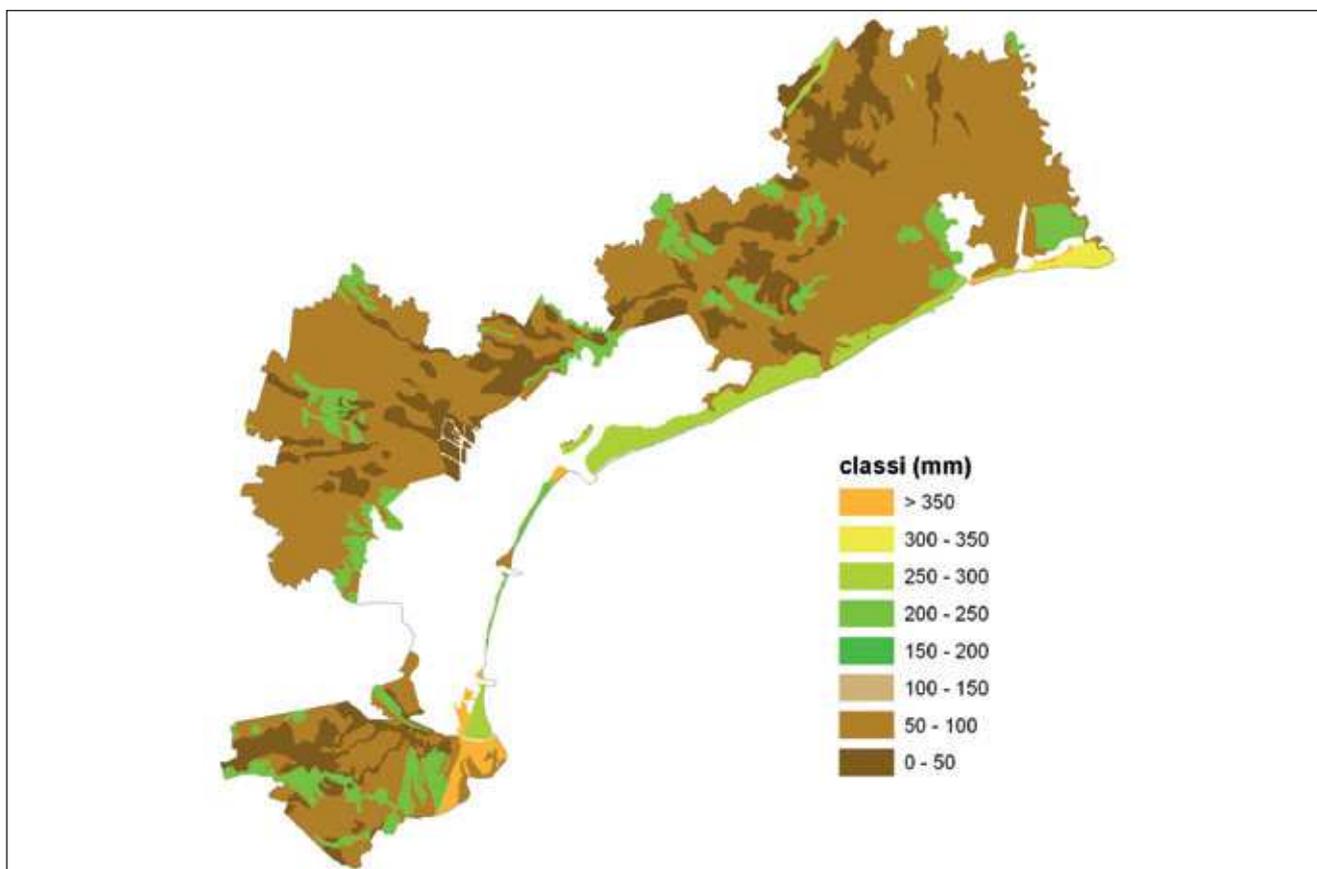


Fig. 14.12 - Carta dell'infiltrazione efficace.

Confrontando il valore di infiltrazione efficace con il diagramma di Fig. 14.13, si ottengono i punteggi da assegnare per questo parametro.

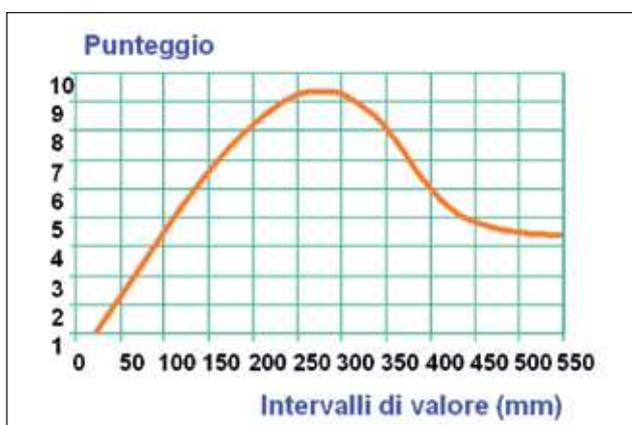


Fig. 14.13 - Valori di ricarica attiva e relativi punteggi (da CIVITA, 1994).

Si ottiene infine la carta di Fig. 14.14 nella quale i punteggi vengono assegnati alle varie aree.

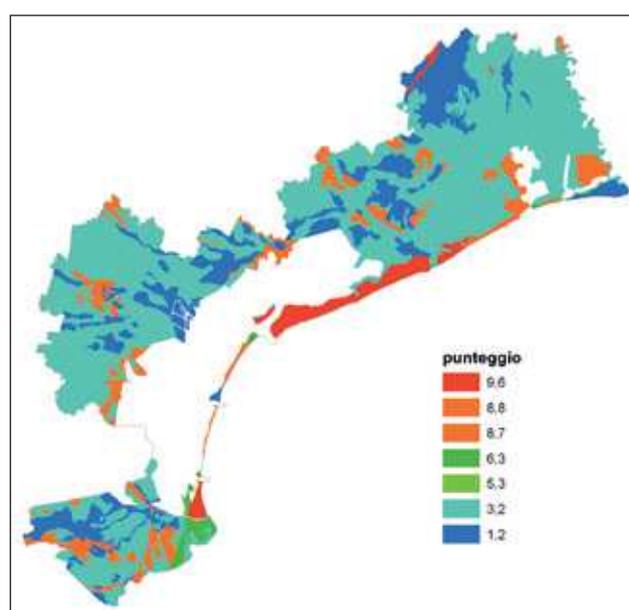


Fig. 14.14 - Punteggi per il parametro infiltrazione efficace.

¹² Vedi anche il capitolo 11 "Climatologia".

14.4.3 Effetto di autodepurazione del non saturo

Il "non saturo" corrisponde all'area compresa tra la superficie della falda e la base del suolo.

La metodologia di calcolo prevede, in sintesi, la riclassificazione della "Carta delle unità di paesaggio" (redatta da Alessandro Fontana del Dipartimento di Geografia dell'Università di Padova per il Servizio

Geologico provinciale, inedita) sulla base delle caratteristiche del non saturo di ciascuna unità.

Nel caso in esame si sono accorpate le unità di paesaggio in otto classi alle quali è stato assegnato un opportuno punteggio, come si può vedere nella Tab. 14.5 e nella Fig. 14.15.

categoria	Unità di paesaggio	descrizione	punteggio
1	RB8	Isole fluviali	7
2	CA1a CA2a CA2s CR1a CR1s CR2a CR2s CR4	Cordoni litoranei apparati deltizi e spiagge	6
3	AB1a AB1b AB2 PR1 PR5 RB1a RB1b RB2	Dossi fluviali	5
4	UR1	Riporti artificiali	3,5
5	LL2	Isole lagunari	3,2
6	AB4 PR2 RB4	Piana di esondazione, area di transizione e incisioni fluviali	3

Tab. 14.5 - Accorpamento delle unità di paesaggio e relativo punteggio assegnato.

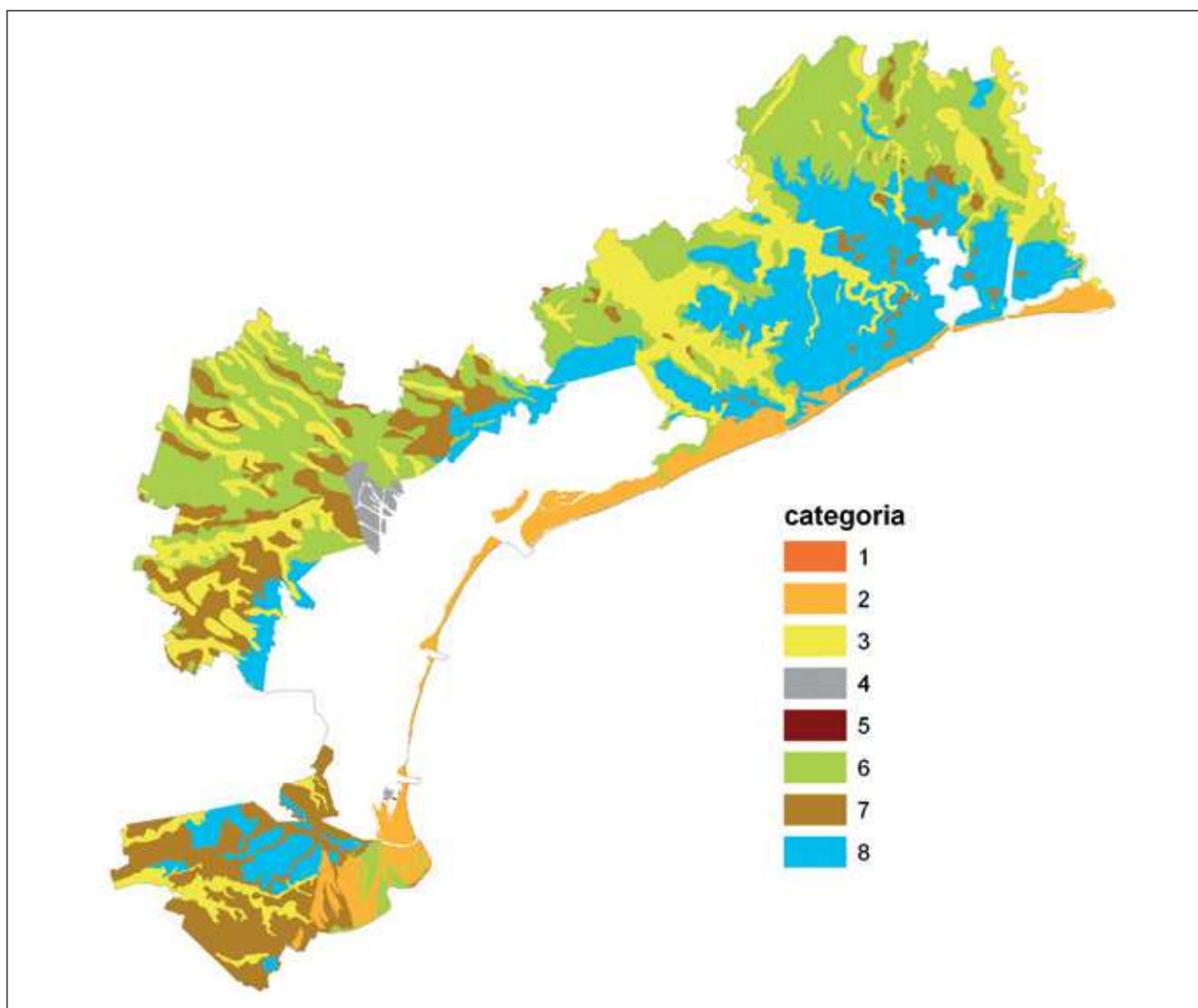


Fig. 14.15 - Accorpamento delle unità di paesaggio in otto categorie.

I punteggi sono stati assegnati sulla base del diagramma *standard* di Fig. 14.16.

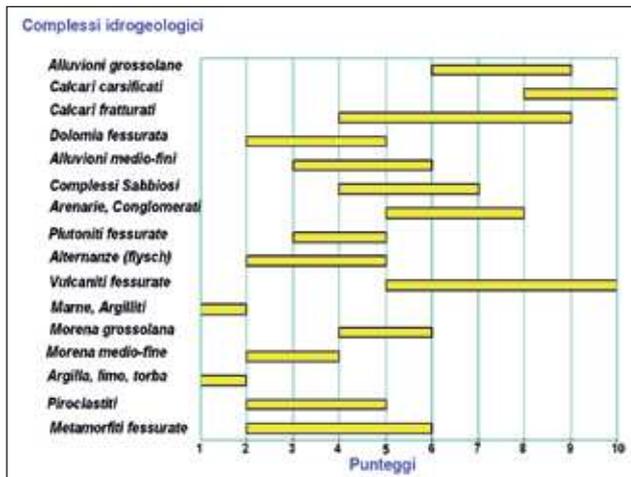


Fig. 14.16 - Punteggi in funzione della composizione litologica della zona non satura (da CIVITA, 1994).

Si ottiene infine la carta di Fig. 14.17, nella quale i punteggi vengono assegnati alle varie aree.

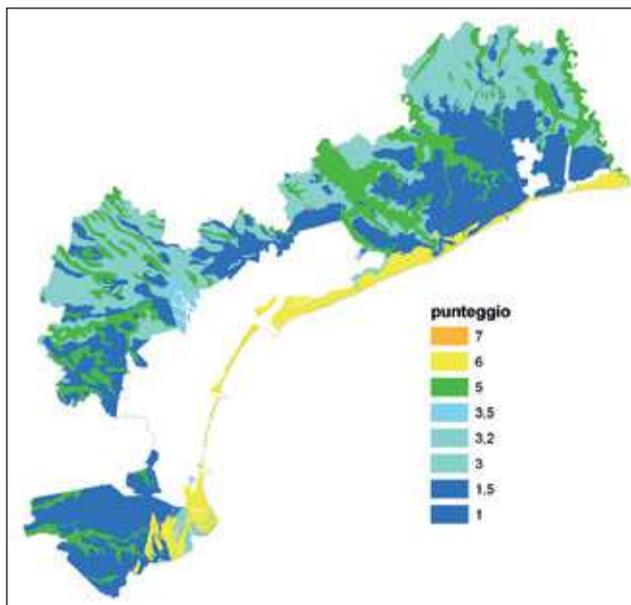


Fig. 14.17 - Punteggi per il parametro autodepurazione della zona non satura.

14.4.4 Tipologia della copertura

L'effetto della copertura (litologia di superficie) è stato valutato sulla base della cartografia della tessitura superficiale, relativa al primo metro di sottosuolo, realizzata elaborando i dati raccolti nell'ambito del progetto "Carta dei suoli"¹³.

I dati relativi alle tessiture derivano da un insieme di rilievi eseguiti nell'ambito del citato progetto: profili e trivellate pedologici, fotointerpretazione ecc.

La distribuzione della tessitura è riportata nella cartografia di Fig. 14.10, già presentata in relazione al calcolo dell'infiltrazione efficace.

Dal confronto con la Fig. 14.18 si sono ottenuti i punteggi che vengono assegnati alle classi di tessitura.



Fig. 14.18 - Tessitura del suolo e relativi punteggi (da CIVITA, 1994).

Si ottiene infine la carta di Fig. 14.19, nella quale i punteggi vengono assegnati alle aree a diversa tessitura.

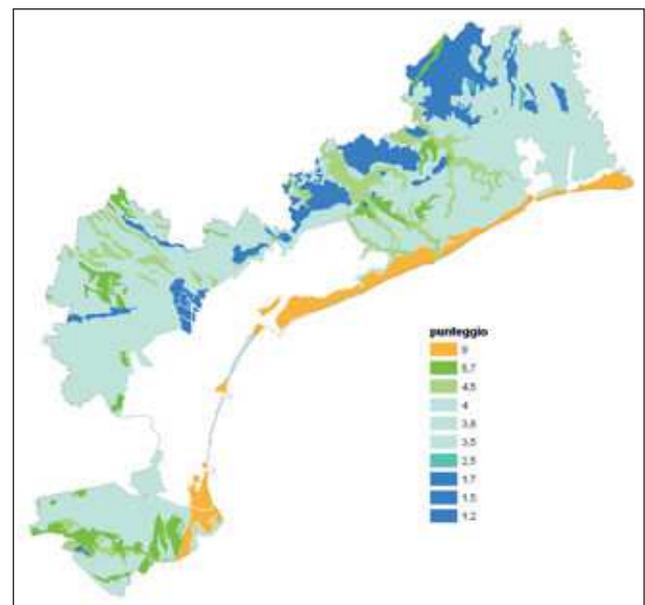


Fig. 14.19 - Punteggi per il parametro copertura.

14.4.5 Caratteristiche idrogeologiche dell'acquifero

Le caratteristiche idrogeologiche dell'acquifero sono un parametro fondamentale nella valutazione della vulnerabilità poiché nella zona satura avvengono fenomeni di diluizione e di dispersione legati ai fenomeni di trasporto.

Si sono distinte quattro diverse tipologie di acquifero a seconda della percentuale di sabbia e di ghiaia

¹³ Si veda il capitolo 6 "Suoli" e le Tavv. 6 e 8.

presente (Tab. 14.6) e ad ognuno è stato assegnato un opportuno punteggio.

Tipologia di acquiferi individuati e punteggi assegnati		
unità	tipologia	punteggio
5	Aree con % di ghiaia, da 1 a 10 m di profondità dal piano campagna, superiore a 10	9
10	Aree con % di sabbia, da 1 a 10 m di profondità dal piano campagna, superiore a 70	8
20	Aree con % di sabbia, da 1 a 10 m di profondità dal piano campagna, compresa tra 50 e 70	6
30	Aree con % di sabbia, da 1 a 10 m di profondità dal piano campagna, inferiore a 50	1,5

Tab. 14.6 - Suddivisione in tipologia di acquiferi sulla base delle percentuali di materiali permeabili presenti nei primi 10 m di sottosuolo.

La divisione del territorio è stata realizzata utilizzando la mappa della percentuale di sabbia presente tra 1 e 10 m di profondità dal piano campagna appositamente ottenuta attraverso la stessa metodologia utilizzata per la realizzazione della mappa della percentuale di sabbia tra 1 e 5 m, estendendo però il calcolo fino a 10 m dal piano campagna, fascia in cui risiede l'acquifero analizzato.

Sono stati così ottenuti 2444 sondaggi; a ognuno dei quali sono state associate informazioni relative alle

coordinate cartografiche e al contenuto percentuale di sabbia e anche di ghiaia.

Dall'interpolazione (*kriging* ordinario) di questi punti è stata ricavata la carta di Fig. 14.20, che rappresenta la percentuale di sabbia presente tra 1 e 10 m di profondità dal piano campagna.

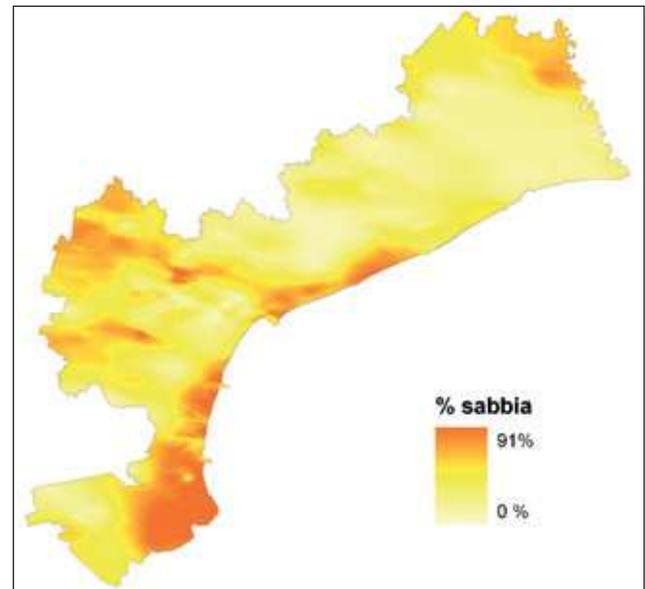


Fig. 14.20 - Carta ottenuta per interpolazione (*kriging*) della percentuale di sabbia presente nei primi dieci metri di profondità.

Estrapolando dalla mappa sovrastante le aree con gli intervalli percentuali di sabbia di 50 e 70 e ricavando dai sondaggi analizzati le aree con presenza di ghiaia maggiore del 10%, si è ottenuta la carta di Fig.14.21, che rappresenta le caratteristiche idrogeologiche dell'acquifero.

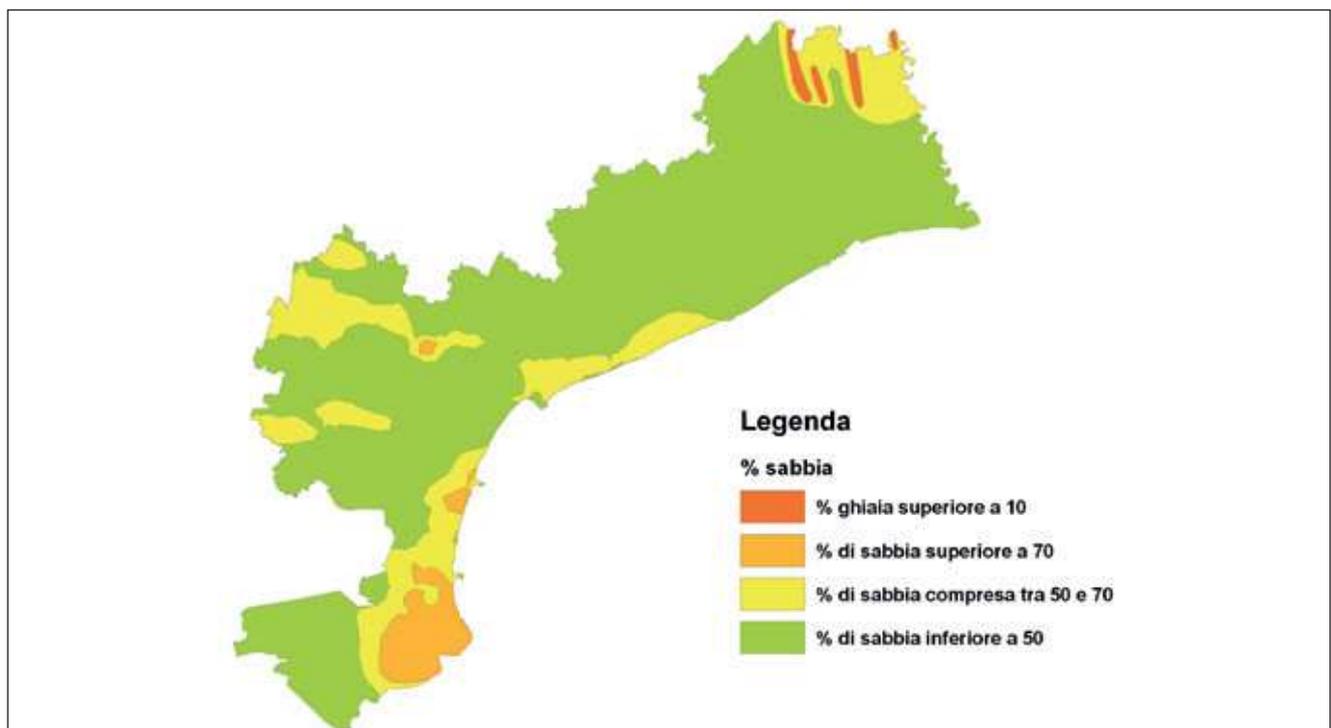


Fig. 14.21 - Carta delle caratteristiche idrogeologiche dell'acquifero.

I punteggi che sono stati assegnati alle varie unità idrogeologiche così delimitate sono stati ottenuti per confronto con il diagramma di Fig. 14.22.

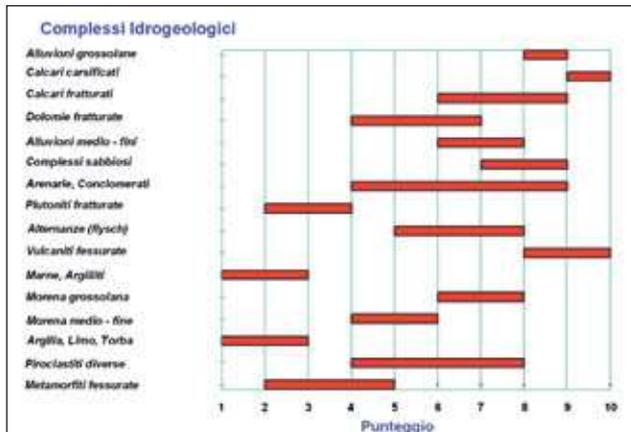


Fig. 14.22 - Caratteristiche delle rocce contenenti la zona satura e relativi punteggi (da CIVITA, 1994).

Si ottiene infine la carta di Fig. 14.23 nella quale i punteggi vengono assegnati alle varie aree.

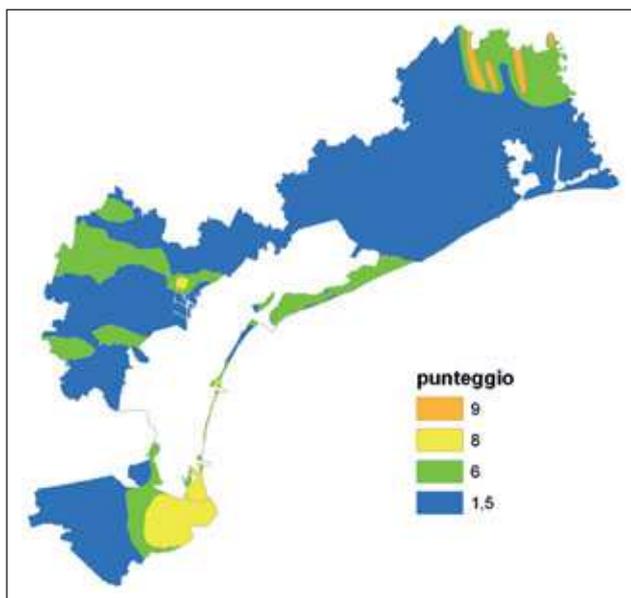


Fig. 14.23 - Punteggi per il parametro caratteristiche idrogeologiche dell'acquifero.

14.4.6 Conducibilità idraulica (permeabilità) stimata dell'acquifero

Il parametro conducibilità idraulica (permeabilità) indica la potenziale mobilità di un inquinante idroveicolato nel mezzo saturo; infatti maggiori valori di conducibilità idraulica (k) implicano, a parità di gradiente idraulico, una maggiore velocità di trasporto della sostanza inquinante, come risulta dalla legge di Darcy:

$$Q = k * i * S$$

dove Q è la portata che transita attraverso una sezione ortogonale S con un gradiente idraulico i .

La permeabilità del mezzo saturo è stata valutata utilizzando i sondaggi presenti nella già citata banca dati stratigrafica del Servizio Geologico provinciale. Sono stati selezionati tutti i sondaggi (a esclusione di quelli effettuati per pozzi idrici e di alcuni altri poco significativi) profondi almeno 5 m e tutti gli strati compresi tra 1 e 5 m (letto > 1 m e tetto < 5 m).

Inoltre, non sono state considerate le stratigrafie con una significativa presenza di materiale di riporto o antropico.

Sono stati complessivamente utilizzati 3168 sondaggi. Di ogni strato o frazione di strato è stato calcolato lo spessore in metri e lo spessore in percentuale rispetto allo spessore totale (4 m) ed è stata assegnata la percentuale delle principali litologie (argilla, limo, sabbia, ghiaia, ciottoli e torba) come definita dal codice litologico; questa percentuale è stata poi ricalcolata sullo spessore totale (4 m) con la procedura già vista per la carta della soggiacenza della falda (§ 14.4.1). In questo caso inoltre, utilizzando le varie percentuali litologiche così ottenute per ogni sondaggio, è stato possibile ricostruire (attraverso una serie di apposite *query* e un successivo controllo manuale) il codice litologico riferito a questo unico strato di spessore 4 m (profondità da 1 a 5 m), come esemplificato nella Tab. 14.7.

Essendo inoltre tutti i codici litologici suddivisi in quattro classi di permeabilità (Fig. 14.24), è stato possibile far rientrare ogni sondaggio in una di queste quattro classi.

id sondaggio	% argilla	% limo	% sabbia	% ghiaia	% ciottoli	% torba	codice litologico	classe di permeabilità
8	76,25	0	23,75	0	0	0	1230	1
12	8,75	41,25	50	0	0	0	3120	2
14	10,31	52,19	6,56	30,94	0	0	2140	2
17	41	52	7	0	0	0	2110	1
18	42,25	9,75	48	0	0	0	1030	1
20	29,19	25,44	45,38	0	0	0	3042	2
23	28,12	15,37	44	0	0	0	3110	2
27	62,13	37,88	0	0	0	0	1120	1
29	85,56	6,94	0	0	0	7,5	1260	1
33	10,31	8,25	79,25	0	0	2,19	3210	2
35	75	0	25	0	0	0	1230	1
55	44,38	25	30,63	0	0	0	1032	1
58	95,63	4,38	0	0	0	0	1320	1
71	61,25	24,75	5,25	0	0	8,75	1120	1
73	62,06	37,94	0	0	0	0	1120	1
77	14,37	38,62	41,38	0	0	5,62	3020	2
83	40,31	51,62	8,06	0	0	0	2110	1
84	16,25	61,38	22,38	0	0	0	2130	2
91	72,25	15,25	12,5	0	0	0	1120	1
92	14,88	82,5	2,62	0	0	0	2210	1
94	6,56	31,31	62,13	0	0	0	3120	2
95	17,5	82,5	0	0	0	0	2210	1
98	67,5	5,69	26,81	0	0	0	1130	1

Tab. 14.7 - Esempio di calcolo della classe di permeabilità di singoli sondaggi.

1120	argilla con limo	2030	limo e sabbia	3020	sabbia e limo	4110	ghiaia con argilla
1130	argilla con sabbia	2060	limo e torba	3040	sabbia e ghiaia	4130	ghiaia con sabbia
1160	argilla con torba	2110	limo con argilla	3060	sabbia e torba	4120	ghiaia con limo
1140	argilla con ghiaia	2130	limo con sabbia	3110	sabbia con argilla	4150	ghiaia con ciottoli
1220	argilla limosa	2160	limo con torba	3120	sabbia con limo	4230	ghiaia sabbiosa
1230	argilla sabbiosa	2210	limo argilloso	3140	sabbia con ghiaia	4220	ghiaia limosa
1260	argilla torbosa	2230	limo sabbioso	3150	sabbia con ciottoli	4210	ghiaia argillosa
1320	argilla deb limosa	2260	limo torboso	3160	sabbia con torba	4250	ghiaia ciottolosa
1330	argilla deb sabbiosa	2310	limo deb argilloso	3210	sabbia argillosa	4330	ghiaia deb sabbiosa
1380	argilla deb torbosa	2330	limo deb sabbioso	3220	sabbia limosa	4320	ghiaia deb limosa
1400	argilla	2360	limo deb torboso	3260	sabbia torbosa	4310	ghiaia deb argillosa
1150	argilla con ciottoli	2400	limo	3240	sabbia ghiaiosa	4400	ghiaia
				3310	sabbia deb argillosa	5040	ciottoli e ghiaia
				3320	sabbia deb limosa	5030	ciottoli e sabbia
				3340	sabbia deb ghiaiosa	5140	ciottoli con ghiaia
	Classe 1: litotipi impermeabili			3360	sabbia deb torbosa	5130	ciottoli con sabbia
	Classe 2: litotipi semipermeabili			3430	sabbia fine (*)	5143	ciottoli con ghiaia e sabbia
	Classe 3: litotipi permeabili			3400	sabbia	5400	ciottoli
	Classe 4: litotipi molto permeabili			3045	sabbia ghiaiosa ciottolosa		

Tabella 3 - Codifiche litologiche utilizzate per l'archiviazione informatizzata dei sondaggi.

Fig. 14.24 - Raggruppamento in quattro classi di permeabilità dei codici litologici.

Le 4 classi di permeabilità sono caratterizzate dai valori di k (m/s) indicati nella Tab. 14.8.

Classe 1	Litotipi impermeabili	$k < 10e-8$
Classe 2	Litotipi semipermeabili	$10e-8 < k < 10e-5$
Classe 3	Litotipi permeabili	$10e-5 < k < 10e-3$
Classe 4	Litotipi molto permeabili	$k > 10e-3$

Tab. 14.8 - Classi di permeabilità del mezzo saturo.

Nella carta di Fig. 14.25 vengono visualizzati i sondaggi suddivisi per classe di permeabilità.

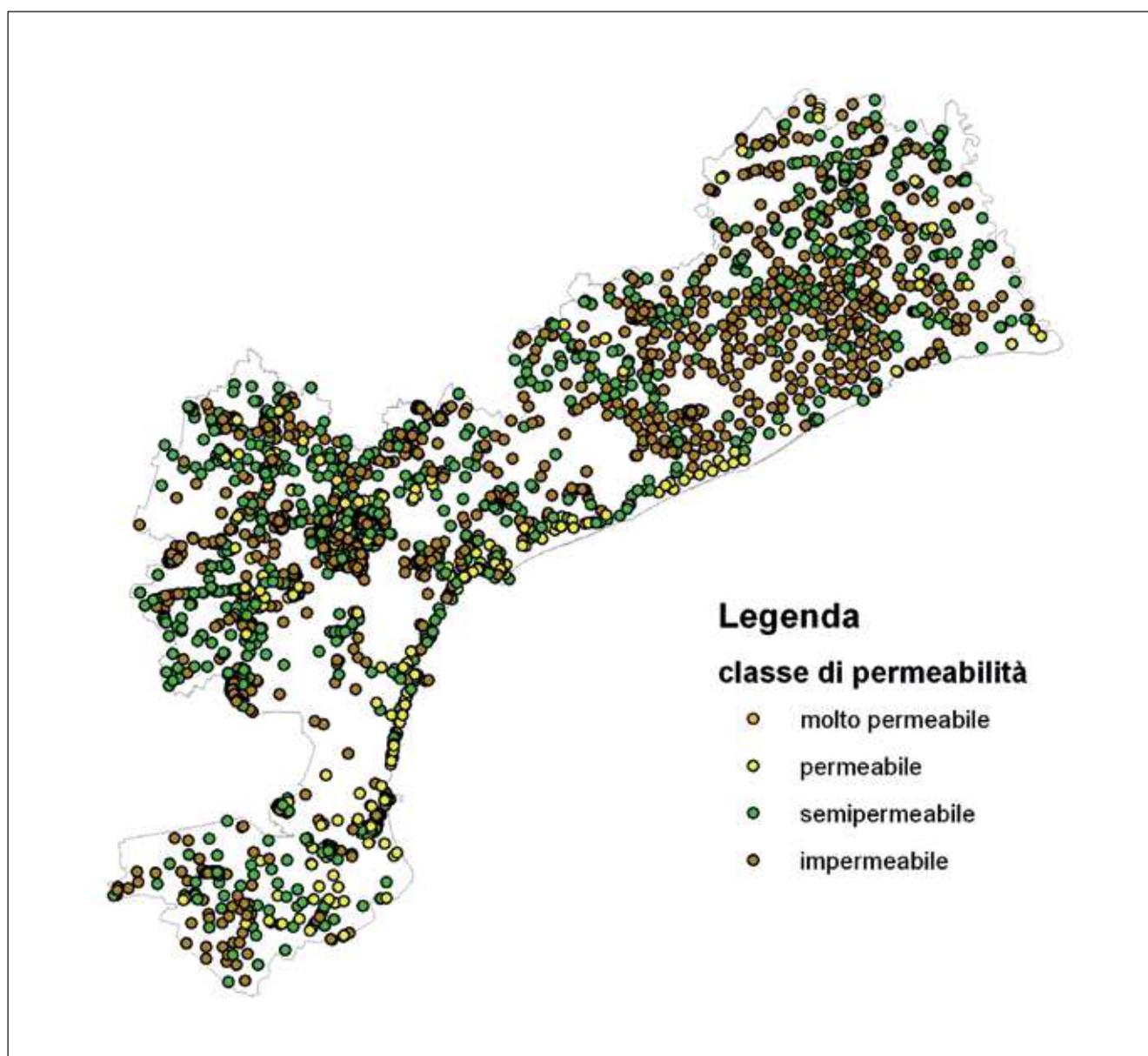


Fig. 14.25 - Sondaggi suddivisi per permeabilità calcolata.

Dall'interpolazione (*kriging* ordinario) di questi punti è stata ricavata la carta di Fig. 14.26 che rappresenta la classe di permeabilità che caratterizza la porzione di sottosuolo tra 1 e 5 m di profondità dal piano campagna.

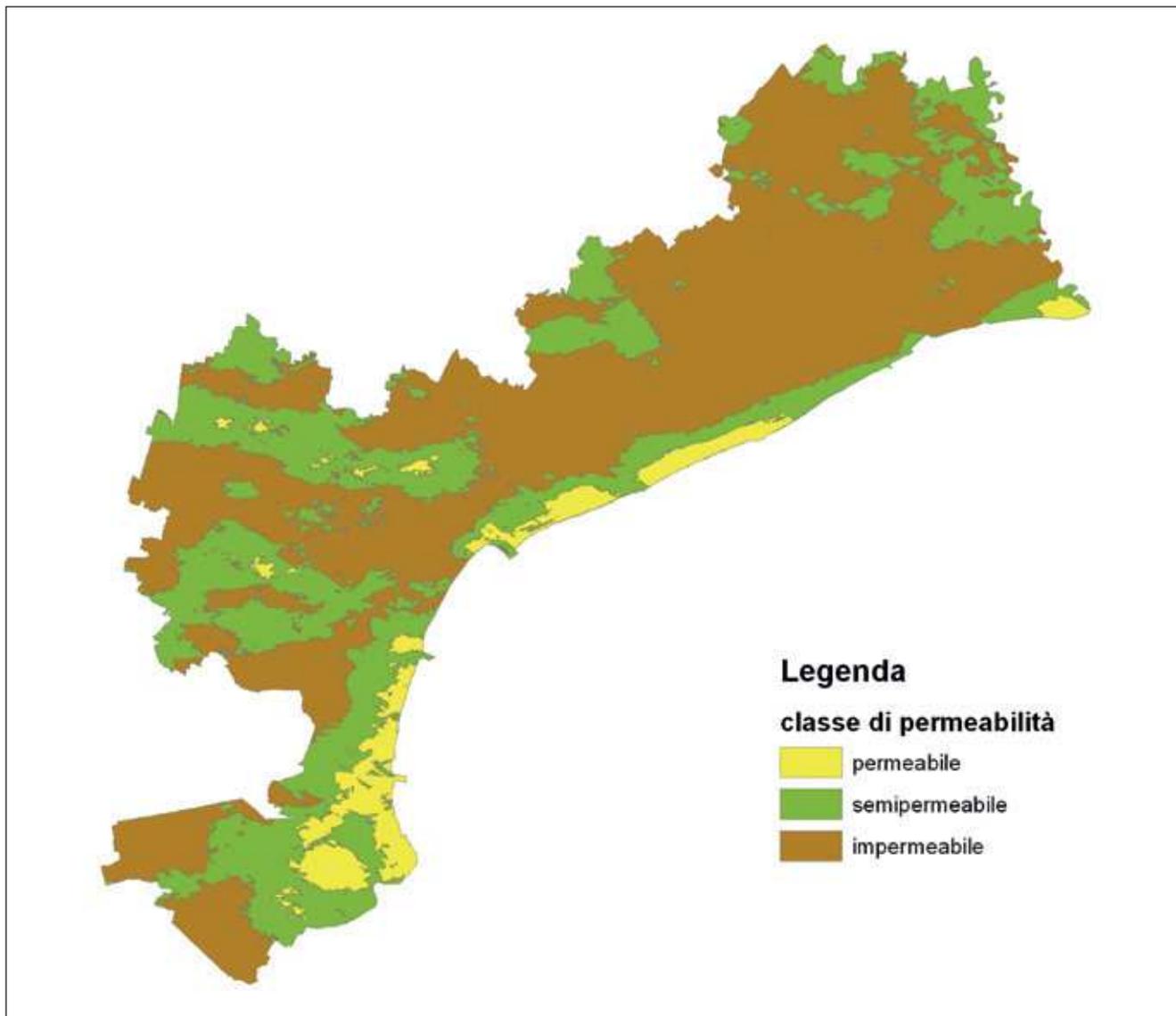


Fig. 14.26 - Carta della permeabilità ottenuta per interpolazione (*kriging*) dei valori calcolati sui singoli sondaggi.

Utilizzando il diagramma di Fig. 14.27, si ottiene il punteggio che viene assegnato a ogni classe di permeabilità.

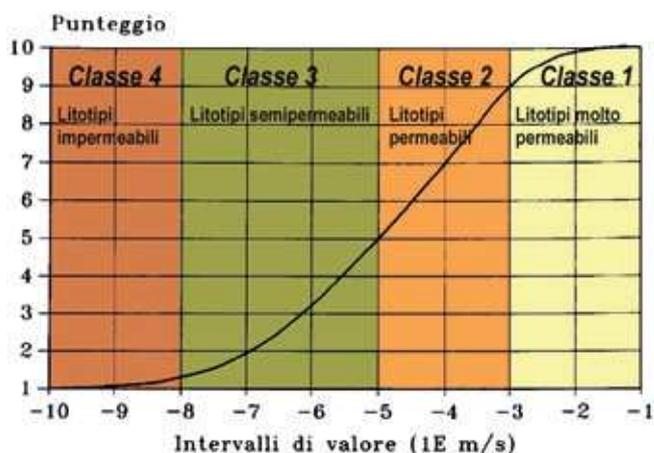


Fig. 14.27 - Valori della conducibilità idraulica e relativi punteggi (da CIVITA, 1994 - integrato).

I punteggi ricavati sono stati riportati nella Tab. 14.9.

Litotipi	k (m/s)	punteggio
Impermeabile	$k < 10e-8$	1,1
Semipermeabile	$10e-8 < k < 10e-5$	2
Permeabile	$10e-5 < k < 10e-3$	5

Tab. 14.9 - Punteggi e permeabilità delle classi di litotipi.

Si ottiene infine la carta di Fig. 14.28, nella quale i punteggi vengono assegnati alle varie aree.

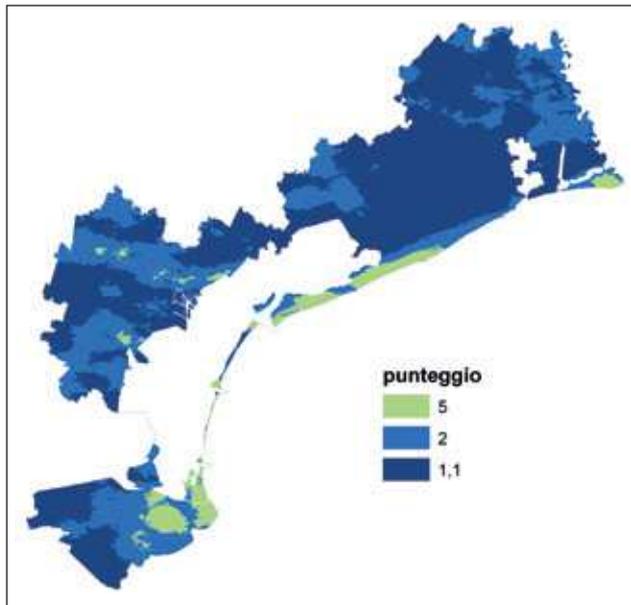


Fig. 14.28 - Punteggi per il parametro permeabilità dell'acquifero.

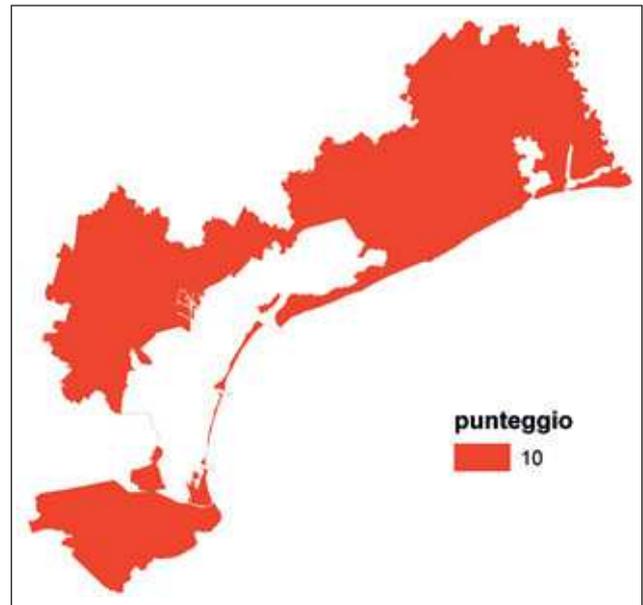


Fig. 14.30 - Punteggi per il parametro acclività della superficie topografica.

14.4.7 Acclività della superficie topografica

Per quanto riguarda l'acclività della superficie del terreno, si sottolinea che a maggiori valori di questa grandezza corrisponde un minor ristagno d'acqua sul suolo; ciò determina un'aliquota di infiltrazione inferiore ai corpi idrici.

I valori rappresentativi di pendenza dell'area oscillano intorno all'uno per cento. Con riferimento alla Fig. 14.29, si sono assegnati uniformemente i valori di punteggio massimo pari a 10 (Fig. 14.30)¹⁴.

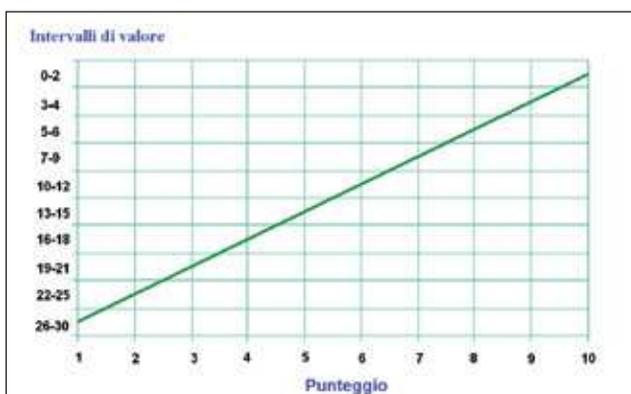


Fig. 14.29 - Valori dell'acclività della superficie topografica e relativi punteggi (da CIVITA, 1994).

14.5. CALCOLO DELL'INDICE SINTACS E REALIZZAZIONE DELLA CARTOGRAFIA DI SINTESI

La determinazione finale dell'indice SINTACS di vulnerabilità intrinseca degli acquiferi superficiali all'inquinamento risulta dalla sommatoria del prodotto dei singoli punteggi per i diversi pesi, secondo la relazione:

$$I_{\text{sintacs}} = \sum_{i=1}^7 (\text{punteggio parametro}(i) * \text{peso}(i))$$

La struttura modulare dell'input di SINTACS è stata concepita per usare varie linee di pesi ("stringhe") in alternativa e contemporaneamente, poiché tali stringhe descrivono di fatto il tipo di situazione idrogeologica e d'impatto.

Nella versione più recente (Release 5) SINTACS prevede cinque diverse stringhe (CIVITA & DE MAIO, 1997).

Le cinque situazioni descritte sono:

- **ordinaria** - aree a vegetazione spontanea o sterile, assenza di concimazioni chimiche...;
- **fonti diffuse** - aree agricole interessate da utilizzo di fitofarmaci e/o concimazioni chimiche, spargimento liquami, settori a rischio per le risorse idriche sotterranee come complessi industriali;
- **drenaggio da corpi idrici superficiali** - aree soggiacenti al reticolo drenante naturale e artificiale; aree di irrigazione con grandi volumi d'acqua;
- **settori interessati da diffusi fenomeni carsici;**
- **aree in rocce fratturate.**

Le stringhe di pesi previste per ciascuna situazione sono riportate nella Tab. 14.10.

¹⁴ Considerata la scala di studio e di pubblicazione è del tutto evidente che l'acclività è praticamente nulla su tutto il territorio provinciale; nel caso di maggior dettaglio andranno però considerate aree di limitata estensione, ma con un certo grado di acclività. Si citano, a titolo d'esempio, nella parte nord-orientale le fasce di raccordo con la bassura del fiume Reghena, mentre nell'area meridionale la fascia circostante a un paleomeandro dell'Adige, adiacente all'Adige stesso, in località Viola di Carvazere.

Parametro	Ordinaria	Fonti diffuse	Drenaggio	Carsismo	Fessurato
S	5	5	4	2	3
I	4	5	4	5	3
N	5	4	4	1	3
T	2	5	2	3	4
A	3	3	5	5	4
C	3	2	5	5	5
S	1	2	2	5	4

Tab. 14.10 - Stringhe di pesi previste dal metodo SINTACS.

Le caratteristiche dell'area permettono l'utilizzo sia della linea di pesi "drenaggio" che di quella "fonti

diffuse". Si è optato per l'uso della linea di pesi "drenaggio" in quanto essa ben descrive la situazione di un'area sottoposta in parte a scolo meccanico e comunque solcata da una fittissima rete di drenaggio delle acque.

Applicando questa metodologia di calcolo, l'indice SINTACS può assumere valori teorici variabili tra 23 e 260 (o tra 8,8 e 100 considerando il valore normalizzato).

La Fig. 14.31 riporta in scala ridotta la carta della vulnerabilità intrinseca degli acquiferi all'inquinamento, che è raffigurata alla scala 1:100.000 nella planimetria di Tav. 12.

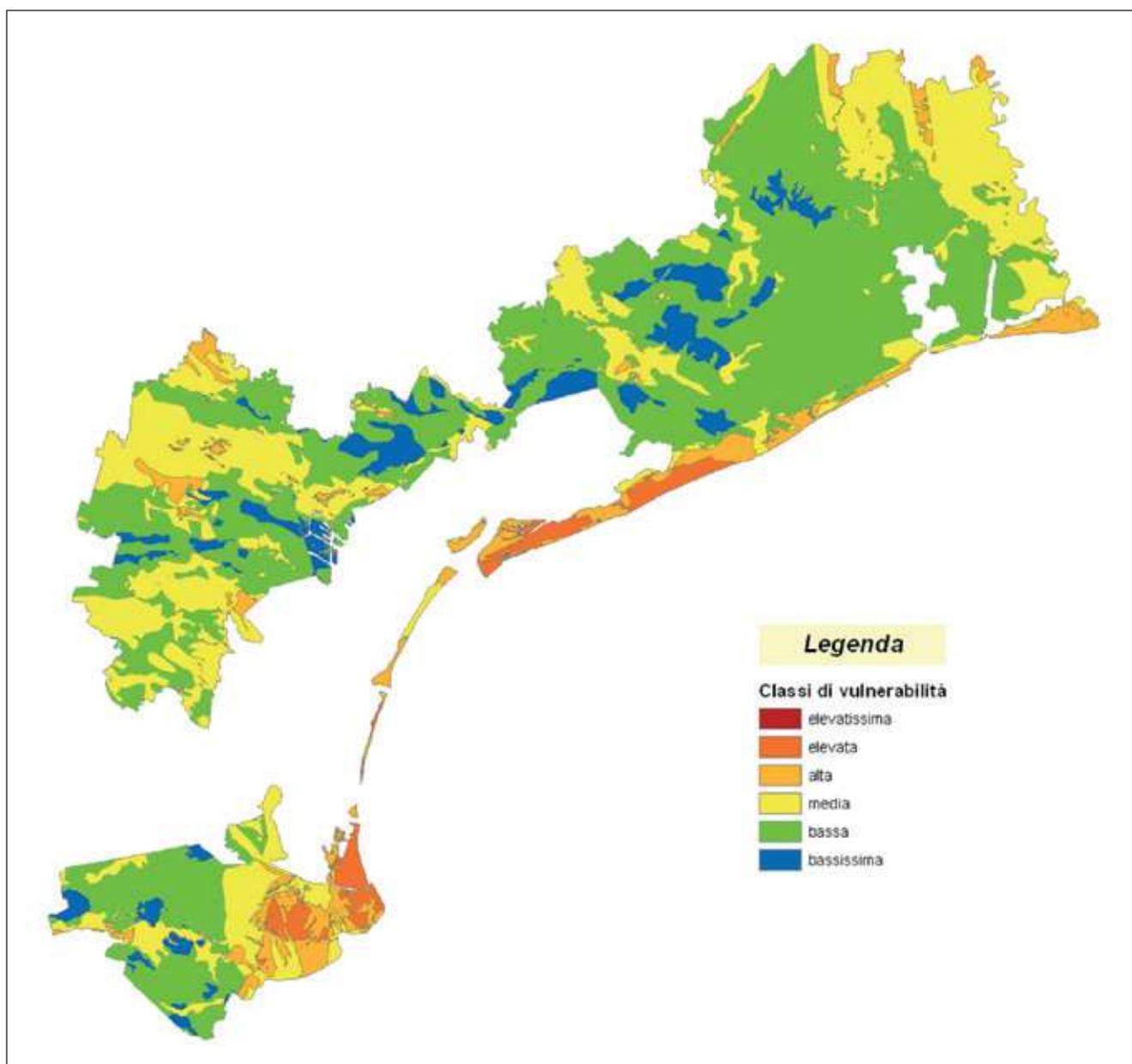


Fig. 14.31 - Carta della vulnerabilità intrinseca degli acquiferi all'inquinamento.

15 GEORISORSE

VALENTINA BASSAN¹, FRANCESCO BENINCASA², ANDREA MAZZUCCATO¹, ANDREA VITTURI¹, PIETRO ZANGHERI³

15.1. LE RISORSE GEOLOGICHE

Nel presente "Atlante geologico della provincia di Venezia" è stato precedentemente esposto quanto attiene a suolo, sottosuolo e acque sotterranee, sottolineandone gli aspetti conoscitivi e ambientali. In questo capitolo invece si evidenziano i loro aspetti che presentano risvolti di carattere economico, oltre a rilevare comunque le problematiche ambientali sottese.

Risulta quindi di preliminare conoscenza quanto esposto soprattutto nei capitoli 6 "Suoli", 7 "Geomorfologia", 8 "Geologia", 12 "Idrogeologia" e 13 "Geoscambio" con le rispettive cartografie esposte nelle Tavv. 8 - 9 - 10 - 11 - 13.

In realtà, quasi tutti i capitoli di questo Atlante vanno considerati in modo unitario, in quanto le relazioni che vi sono tra una tematica e un'altra sono intrinsecamente esistenti in natura.

In questo capitolo sono trattate le due georisorse principali presenti in provincia, e cioè i materiali utilizzati (e utilizzabili nel caso ve ne sia la convenienza economica) dall'attività estrattiva e le acque sotterranee. Non si tratta invece di risorse geologiche potenzialmente presenti a maggiori profondità, quali giacimenti di gas o idrocarburi in genere, e neppure della possibilità di usare il sottosuolo profondo quale stoccaggio geologico di CO₂ o di altri fluidi.

Nella cartografia di Tav. 14, alla scala 1:100.000, sono localizzate le attività estrattive note, le aree di maggior sfruttamento delle acque sotterranee e i pozzi rilevati (compresi i pozzi acquedottistici da falda profonda fuori provincia).

15.2. CAVE E MIGLIORIE FONDIARIE

15.2.1. Il contesto geologico

In questo Atlante geologico quanto concerne suoli (capitolo 6 e Tav. 8), geomorfologia (capitolo 7 e Tav. 9) e geologia (capitolo 8 e Tav. 10) è stato esaurientemente trattato e quindi si rinvia a quanto lì scritto; è infatti necessario, parlando di attività estrattiva, avere ben presente il quadro generale di riferimento per conoscere, almeno a grandi linee, la distribuzione dei materiali litoidi la cui estrazione e commercializzazione presenta, o può presentare in determinate situazioni, convenienza economica.

Qui basta ricordare che nel Quaternario recente i fiumi veneto-friulani hanno ripetutamente cambiato percorso a valle del loro sbocco vallivo, interessando aree molto ampie fino a coprire migliaia di chilometri quadrati. Si sono così formati sistemi sedimentari che in pianta presentano una morfologia a ventaglio, men-

tre in tre dimensioni possiedono una forma simile a un cono appiattito (definito conoide alluvionale).

Nell'area veneta e friulana, soprattutto a est del Naviglio Brenta, i diversi tratti di pianura costruiti dai maggiori fiumi sono stati distinti fra loro sulla base di dati geomorfologici, stratigrafici, pedologici, mineralogici e archeologici (COMEL, 1950, 1958; COMEL A. & VITTURI A., 1983; MOZZI, 1995; CASTIGLIONI, 1999; BONDESAN A. *et al.*, 2002b; FONTANA, 2002b). Nell'insieme questi sistemi deposizionali presentano una continuità spaziale dallo sbocco vallivo fino alle zone costiere e mostrano forme complessivamente a "ventaglio" con marcata differenziazione interna in senso longitudinale (Fig. 15.1.).

In particolare, le prime decine di chilometri del loro sviluppo, dallo sbocco vallivo dei corsi d'acqua fino alla fascia delle risorgive, sono ghiaiose e hanno pendenze tra 7 e 3‰, corrispondenti alla così detta "alta pianura". Allontanandosi dal margine alpino, la diminuzione della capacità di trasporto dei corsi d'acqua ha impedito loro di veicolare sedimenti grossolani, consentendo il moto verso valle di sedimenti progressivamente più fini, che vanno a costruire una pianura costituita da depositi di esondazione limoso-argillosi e da corpi di canale sabbiosi ("bassa pianura"). Tuttavia i maggiori fiumi, quali Tagliamento, Piave e Brenta, presentano dapprima un letto ghiaioso molto largo a canali intrecciati (*braided*) avente una profondità di 1-2 m. Più a valle, in genere poco a sud della linea delle risorgive, l'alveo diviene monocursale, prima a isole fluviali e poi a meandri. In tale settore l'acqua scorre in un canale profondo vari metri, con un'ampia zona d'esondazione in cui il fiume deposita sedimenti fini. Nel tratto terminale, l'alveo diviene pensile e si ha la formazione di dossi fluviali rilevati.

Nel territorio provinciale esiste testimonianza di tutti e tre gli ambienti deposizionali che hanno attratto l'attività antropica inerente all'estrazione di materiali ghiaiosi e sabbiosi (per il confezionamento del calcestruzzo e per la realizzazione di sottofondi stradali e ferroviari), argillosi (per il confezionamento di laterizi e per la realizzazione di manufatti arginali) e torbosi (per il confezionamento di composti per il giardinaggio e ammendanti per l'agricoltura). Tale attività, soprattutto nel passato più recente, ha indotto notevoli cambiamenti nella geomorfologia della pianura, soprattutto della bassa pianura.

¹ Provincia di Venezia, Servizio Geologico e Difesa del Suolo.

² Geologo in Vigonovo - www.geologiaeterritorio.it

³ Geologo - Studio Tecnico Zangheri & Basso - Padova - www.progettazioneambientale.it

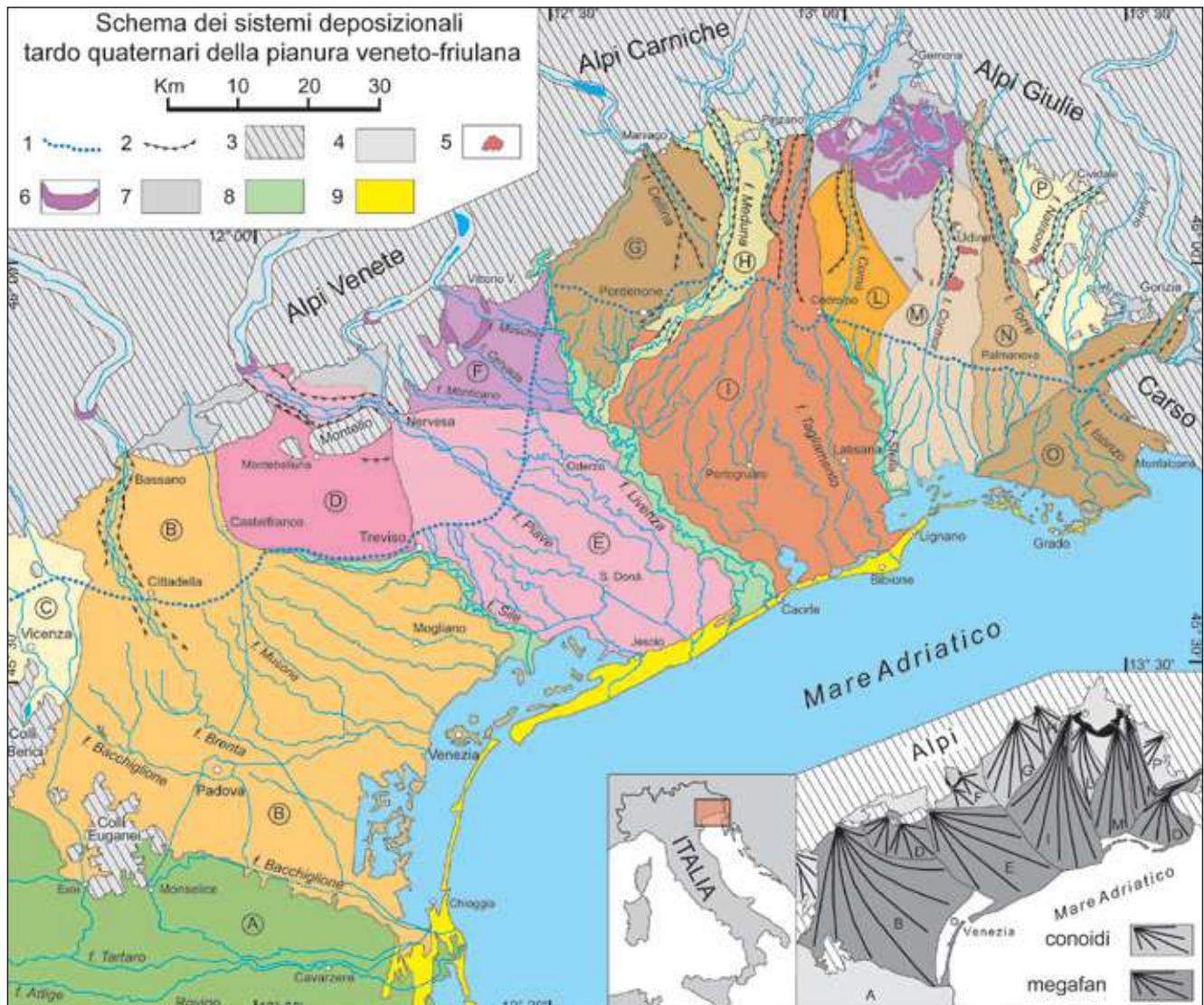


Fig. 15.1 - Schema dei sistemi deposizionali della pianura veneto-friulana (modificato da FONTANA *et al.*, 2008).

15.2.2. L'influenza dell'attività umana⁴

I primi indizi di un importante impatto umano sono riferibili all'età del Bronzo recente e finale (1450-1000 a.C.), quando i siti erano strutturati in complessi sistemi territoriali (BERNABÒ BREA *et al.*, 1997) e sono documentate costruzioni di sistemi di irrigazione e di drenaggio e le prime reti di comunicazione (BALISTA & DE GUIO, 1997; CREMASCHI, 1997; FONTANA, 2002).

Durante l'epoca romana, oltre ai fossi di irrigazione o bonifica vennero scavati numerosi canali e rettificati alcuni alvei naturali per renderli navigabili.

La pianura venne notevolmente antropizzata e molti hanno individuato in questo processo alcune delle cause che in parte condussero alle notevoli catastrofi idrogeologiche verificatesi alla fine del periodo romano.

Inoltre, vanno ricordate le opere medievali di sistemazione agraria condotte dai monaci benedettini che condussero alla bonifica di ampie zone palustri e lagunari.

Infine, l'incredibile serie di interventi iniziati dai veneziani e poi completati nel corso del XIX secolo, che

provocarono un notevole "irrigidimento" della pianura che diviene confinata tra argini, rettifiche e canalizzazioni.

L'ultimo grande evento morfogenetico nella pianura veneto-friulana, forse quello che oggi caratterizza di più l'aspetto della bassa pianura, è stata l'opera di bonifica delle zone lagunari e perlagunari che hanno condotto al prosciugamento tra Isonzo e Adige di oltre 4000 km². L'opera di prosciugamento, già iniziata dai romani e progettata in chiave moderna dalla Repubblica di Venezia, è stata condotta soprattutto tra la seconda metà del XIX secolo e la prima del XX (FASSETTA, 1977; COMEL A. & VITTURI A., 1983; BASSAN *et al.*, 1994; MARSON, 1997; TAGLIAFERRI *et al.*, 1990).

Giungendo ai tempi più recenti, tra le attività umane che più hanno modificato la pianura oltre alle bonifiche agrarie, il più evidente è forse la crescita delle

⁴ Questi argomenti sono stati ampiamente trattati nei capitoli 2 "Profilo storico" (con le Tavv. 2 - 3) e 3 "Geoarcheologia" (con la Tav. 4), cui si rinvia per maggiori dettagli e informazioni.

città e degli insediamenti urbani e industriali; inoltre si devono ricordare le numerose cave di ghiaia presenti nell'alta pianura e di argilla e sabbia nella bassa pianura. Esse hanno talvolta creato, nell'alta pianura, enormi crateri ben visibili anche nelle riprese satellitari. Poco a monte delle risorgive (e quindi al di fuori del territorio provinciale), sono presenti notevoli concentrazioni di cave che rendono ormai tipico il paesaggio di quelle zone.

Spesso connesse, e successive all'opera di prelievo dei cavaatori, sono anche le discariche di inerti e di rifiuti solidi urbani, che generalmente s'impostano e utilizzano i volumi delle cave dismesse.

15.2.3. Cenni normativi

Con L.R. n° 44 del 7.09.1982 (e successive modifiche e integrazioni) la Regione Veneto ha disciplinato l'attività di cava:

- individuando i materiali di cava;
- individuando gli strumenti di pianificazione in materia di estrazione dei materiali di cava;
- stabilendo le funzioni di vigilanza sui lavori di ricerca e di coltivazione dei materiali di cava circa la loro abusività e/o difformità.

In attuazione all'art. 5 della L.R. n° 44/1982, la Giunta Regionale ha adottato con deliberazione n° 6228/84 una *proposta di Piano Regionale delle attività estrattive*. Tale piano ha incontrato una serie di difficoltà che non ne ha consentito l'approvazione per cui, nonostante reiterati tentativi⁵, a tutt'oggi non vige ancora tale importante strumento pianificatorio e neppure la legge regionale è stata sostanzialmente modificata come necessiterebbe. Si tratta quindi di una situazione in divenire, di cui per il momento non si vede un concreto traguardo.

15.2.4. Attività delle Province

Alle Province competono, tra l'altro, le funzioni di *Difesa del suolo, tutela e valorizzazione dell'ambiente e Prevenzione delle calamità, Tutela e valorizzazione delle risorse idriche ed energetiche*, e sulla base del principio di sussidiarietà, il nuovo Piano attiverebbe una delega piena alle Province per quanto riguarda i materiali di rilevanza provinciale.

Nel caso della provincia di Venezia i materiali più comuni sono rappresentati da argille, sabbie e torbe (gruppo B ai sensi dell'art. 3 della L.R. n° 44/1982), ma la delega riguarda ogni altro materiale rinvenibile sotto qualsiasi forma di deposito naturale appartenente alla seconda categoria di cui all'art. 2 del R.D. n. 1443 del 29.07.1927 e industrialmente utilizzabile.

Dal 1986 al 2010 si sono succedute autorizzazioni regionali che hanno interessato 206.896 m³ di argilla, 242.553 m³ di torba e 3.145.058 m³ di sabbia (Fig. 15.2).

Si rinvia a quanto scritto nel capitolo 5 "Banche dati" per quanto concerne il *data base* col quale il Servizio Geologico ha organizzato le conoscenze e i documenti esistenti relativi all'attività estrattiva (cave e mi-

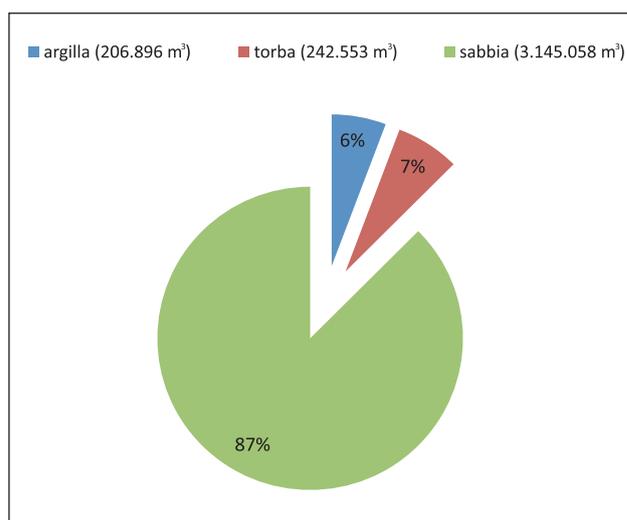


Fig. 15.2 - Volumi di materiale autorizzato dal 1986 al 2010.

glorie fondiaria) e alla Tav. 14 "Georisorse", alla scala 1:100.000, per le relative localizzazioni sul territorio di tali attività.

Un breve accenno all'utilità del *data base* informatizzato attraverso il quale vengono richiamate informazioni amministrative, geografiche e fisiche che rendono agevoli e rapide le ricerche finalizzate al controllo del territorio sia in riferimento ai compiti istituzionali (vigilanza) sia in riferimento a segnalazioni di privati cittadini.

Infine, la modernizzazione degli strumenti di controllo non si è limitata "all'archiviazione" delle informazioni esistenti ma, grazie alla lungimiranza della Provincia, si è investito nella strumentazione di misura (sistema GPS di precisione topografica e distanziometro *laser*) che permette di valutare in tempo reale dimensioni, profondità e volume di ogni genere di movimento terra. Tale sistema di controllo "integrato" ha perfezionato e facilitato i sopralluoghi e ha permesso di abbattere le abitudini estrattive disoneste e pericolose per l'integrità del territorio.

15.2.5. L'attività estrattiva in provincia di Venezia

La conoscenza delle caratteristiche geologiche e, più in generale, fisico-ambientali di un territorio è necessaria per una corretta gestione, pianificazione e valorizzazione del territorio stesso.

⁵ Con D.G.R.V. n° 3121 del 23.10.2003 la Giunta Regionale ha adottato il Piano Regionale Attività di Cava (P.R.A.C.), ai sensi dell'art. 7 della Legge regionale 7.09.1982 n° 44. Successivamente, la Giunta Regionale con D.G.R.V. n° 135/CR del 21.10.2008 ha preso atto del P.R.A.C., così come modificato a seguito delle controdeduzioni alle osservazioni e ai quesiti pervenuti. L'intelaiatura del piano adottato (e quindi non ancora approvato) è di tipo *indicativo e regolatorio*, intesa cioè a responsabilizzare gli enti locali, gli imprenditori e l'opinione pubblica sulla necessità di una nuova *governance* del settore, sulla condivisione delle priorità, la concertazione, la responsabilizzazione degli attori, il monitoraggio e il continuo ri-adequamento del piano.

La Provincia di Venezia, come da suoi compiti istituzionali, ha scelto di conoscere compiutamente il proprio territorio per poterlo gestire correttamente e anche per fornire ai Comuni, nel quadro della raccolta ed elaborazione dati e dell'assistenza tecnico-amministrativa previste dalla normativa (di settore, urbanistica e di protezione ambientale), quanto necessario per i compiti di loro spettanza. Prova di questo sono i numerosi Studi realizzati e pubblicamente presentati dalla Provincia in questi anni di cui alla "Collana degli studi geologici e di difesa del suolo della Provincia di Venezia" di cui si è scritto all'inizio di questo Atlante geologico, che è il sedicesimo volume della collana stessa.

Poiché l'attività estrattiva coniuga interessi d'ordine economico, occupazionale e ambientale che devono essere visti globalmente e affrontati unitariamente in modo scientifico, le informazioni acquisite hanno permesso di definire una precisa e preventiva conoscenza del mosaico geoambientale che ha contribuito (e tuttora contribuisce) alla corretta redazione, e al monitoraggio, del Piano di Attività di Cava del territorio provinciale di Venezia.

A tal proposito, va osservato che l'attività di cava in provincia è sottostimata perché, in parte, mascherata dalle così dette "opere di miglioramento fondiario" e, in parte, perché il fabbisogno viene soddisfatto anche tramite l'approvvigionamento di materiali dal di fuori del territorio provinciale.

15.2.6. Storia dell'attività estrattiva (cave)

Le cave di argilla sono quelle che, storicamente, hanno avuto maggiore diffusione nel territorio provinciale. Il *Primo rapporto sull'attività estrattiva del Veneto* (1974) indicava la presenza di 10 cave di cui tre ubicate nel comune di Marcon, una nel comune di Martellago, una nel comune di Noale e cinque nel comune di Salzano.

Altro caso è rappresentato dalle *cave di prestito*, utilizzate cioè contestualmente alla realizzazione di opere in terra come rilevati stradali, ferroviari, autostra-

dali ecc. e/o per il rialzo/manutenzione di arginature fluviali. Generalmente si trattava di cave ubicate nei pressi dell'opera di progetto e interessavano litologie sabbiose (per opere stradali) e argillose (per opere idrauliche).

Nell'archivio informatizzato del Servizio Geologico della Provincia sono contenute anche le pratiche di due cave, ubicate rispettivamente a Cinto Caomaggiore e Teglio Veneto, che negli anni '80-'90 hanno estratto ghiaia (Fig. 15.3).

Attualmente, è presente un'unica cava attiva (*Cava Cavalli*) ubicata nel comune di Marcon. Trattasi di cava di argilla per laterizi il cui pregio consiste nella particolare colorazione bruno-giallastra che assume durante la cottura.

Ulteriore caso è rappresentato dalle cave abusive e dai miglioramenti fondiari che hanno fornito al mercato materiali di natura argillosa, sabbiosa e torbosa (quest'ultima utilizzata per la preparazione di terriccio per il giardinaggio e di ammendanti per l'agricoltura).

15.2.7. Ubicazione dei siti di estrazione

I litotipi industrialmente utilizzabili fanno parte della potente coltre alluvionale, sub-superficiale, recente, di apporto continentale, che costituisce la pianura veneziana.

L'ubicazione di ciascuna cava è funzione delle caratteristiche geologiche e geomorfologiche del territorio su cui insiste. Dal punto di vista geologico, il territorio provinciale appartiene alla bassa pianura veneta, a sud della linea delle risorgive, costituita da materiali alluvionali di origine fluvio-glaciale quali ghiaia, sabbia, limo e argilla, di età quaternaria. Occorre ricordare che gli antichi fiumi di pianura, non costretti come ora a scorrere entro argini artificiali, in occasione delle piene stagionali uscivano dal loro percorso depositando le proprie alluvioni nel territorio circostante. La tipologia del materiale depositato dipendeva quindi dalla capacità di trasporto della corrente per cui, in prossimità del corso d'acqua si trovavano i materiali

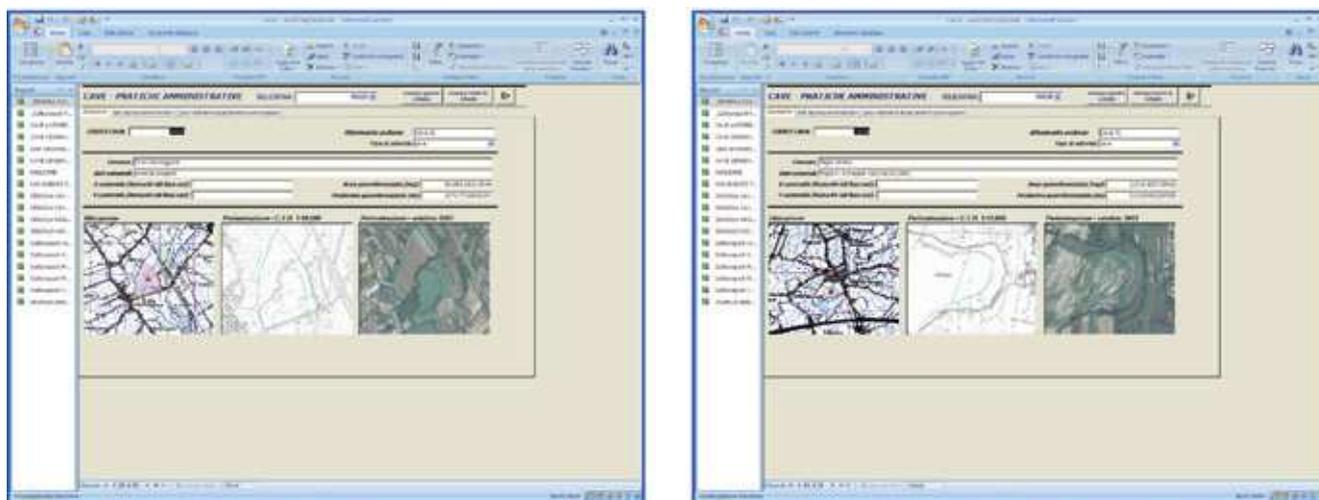


Fig. 15.3 - Estratto del *data base* cave (comuni di Cinto Caomaggiore e Teglio Veneto).

più grossolani (ghiaie e sabbie), più lontano quelli intermedi (limi) e da ultimo, nei catini interfluviali, quelli più fini (argille e torbe).

Ne deriva che gli accumuli di materiale con le caratteristiche qualitative migliori sono stati oggetto di estrazione selettiva secondo la zonizzazione seguente:

- nell'area nord-orientale della provincia è stata estratta sabbia e ghiaia nella parte più settentrionale, mentre è stata estratta argilla nella parte centrale;
- nell'area centrale è stata estratta prevalentemente argilla (ma scavi abusivi hanno interessato localmente anche sabbie e torbe);
- nell'area meridionale è stata estratta prevalentemente sabbia e torba secondo le modalità proprie dei Miglioramenti Fondiari.

15.2.8. L'argilla e i laterizi

La produzione di laterizi in Venezia non sembra essere mai stata più di tanto consistente, anzi spesso è da ritenersi addirittura inesistente. Questo perché Venezia, per la sua particolare condizione di città in acqua, si trovava ad essere totalmente priva di materie prime: sia il reperimento delle zone di approvvigionamento, sia il trasporto, hanno da sempre costituito un problema non indifferente per l'edilizia lagunare.

Pietre, argilla e soprattutto legname necessario per la cottura di mattoni e calce dovevano provenire dall'esterno. Gran parte dei mattoni impiegati in laguna sono pertanto prodotti nell'immediata terraferma, in luoghi più comodi per lo sfruttamento delle risorse, soprattutto presso le foci dei fiumi, principali cave di argilla e snodi del trasporto fluviale del legname proveniente dai boschi del Cadore; è facile immaginare come fosse meno dispendioso importare a Venezia i materiali da costruzione come prodotto finito, piuttosto che le singole materie prime.

Le fornaci presenti nel territorio veneziano producevano varie tipologie di manufatti in laterizio (tegole, mattoni, canalizzazioni, oggettistica ecc.) prodotti con argilla foggata a mano entro stampi di legno e cotta in fornaci a una temperatura che si aggirava sui 900 °C. A questa temperatura l'impasto subisce delle trasformazioni irreversibili, perde la sua plasticità e ottiene un buon grado di compattezza e resistenza.

L'importazione e l'utilizzo del materiale da costruzione è sottoposto a rigidi vincoli legislativi: il materiale archivistico riguardante le regolamentazioni delle attività artigianali veneziane è vastissimo e si ritrova nei Capitolari delle Arti (Capitolare dei Numeratori e trasportatori di tegole e mattoni, datato 1222 e Capitolare dei Fornasieri, datato 1229) e in alcune Delibere del Maggior Consiglio. Inoltre, già a partire dal XIII secolo, esisteva una forma con dimensioni fisse per la fabbricazione di tegole e mattoni, il cui modello comunale, oggi non più visibile, era pubblicamente esposto a Rialto, presso l'ufficio della Giustizia; essendosi però ben presto dimostrata una disposizione insufficiente per controllo delle misure minime, una Delibera del Maggior Consiglio del 20 gennaio 1327

impose ai fornaciai di acquistare e tenere presso le fornaci apposite forme in legno, contrassegnate con il bollo del comune e rivestite di ferro ai lati perché non diminuissero di grandezza.

In seguito alla dominazione austriaca e ai grandi lavori di militarizzazione intrapresi in tutta la Laguna, la produzione si normalizza sulle forme e dimensioni che in seguito verranno poi assunte come *standard* anche nelle normative unificate emesse dal nuovo stato italiano per la produzione industriale dei laterizi di modulo UNI.

15.2.9. La ghiaia

La ghiaia viene usata principalmente nel confezionamento del calcestruzzo, del conglomerato bituminoso e in altre applicazioni dell'edilizia.

Dalla carta della Unità Geologiche (Tav. 10 e suo stralcio in Fig. 15.4) risulta che alcune unità presenti nei comuni di Annone Veneto, Cinto Caomaggiore, Gruaro, Teglio Veneto, Fossalta di Portogruaro e San Michele al Tagliamento (località San Giorgio e dintorni) contengono ghiaie e ghiaie sabbiose.

In particolare:

- unità di Latisana (LAT) = depositi alluvionali relativi alla direttrice attuale del Tagliamento; fino all'altezza di San Giorgio, all'interno della golena sono presenti ghiaie con diametro massimo di 3 cm;
- unità di Concordia (CNC) = depositi alluvionali di un ramo del Tagliamento che possedeva la stessa direzione dell'attuale corso del fiume Lemene; sono presenti ghiaie dal margine settentrionale del confine provinciale fino alla località Boldara;
- unità di Lugugnana (LUG) = è stata formata dalla direttrice del Tagliamento che si snoda per Cordovado (PN), Teglio, Gorgo, Fratta, Fossalta, Vado, Giussago e Lugugnana; fino a Teglio Veneto affiorano ghiaie e ghiaie sabbiose; l'analisi dei sondaggi disponibili nella banca dati della Provincia ha consentito di mappare con buon dettaglio la distribuzione delle ghiaie nell'unità (FONTANA, 2006); esse risultano subaffioranti fino all'altezza dell'autostrada A4, presso Fossalta si trovano già a 3-5 m di profondità e, presso Vado, a 10-12 m; lo spessore delle ghiaie è di circa 6-8 m a monte dell'autostrada e raggiunge anche i 15 m più a valle;
- unità di Alvisopoli (ALV) = appartiene al sistema alluvionale del Tagliamento; a monte dell'autostrada A4 sono presenti importanti corpi ghiaiosi a profondità di circa 2 m e di 10 m di potenza; a sud dell'autostrada il tetto si approfondisce rapidamente a 4 m e all'altezza della linea ferroviaria Venezia-Trieste si trova a circa 10 m;
- unità di Cinto Caomaggiore (CIN) = corrisponde a parte del riempimento delle antiche incisioni fluviali formate dal Tagliamento; le ghiaie sono state sfruttate dalle cave di Cinto Caomaggiore e da quelle di Sesto al Reghena (PN), ora occupate da estesi laghi che rappresentano degli importanti ambienti di rinaturalizzazione. Le ghiaie sono affioranti fino

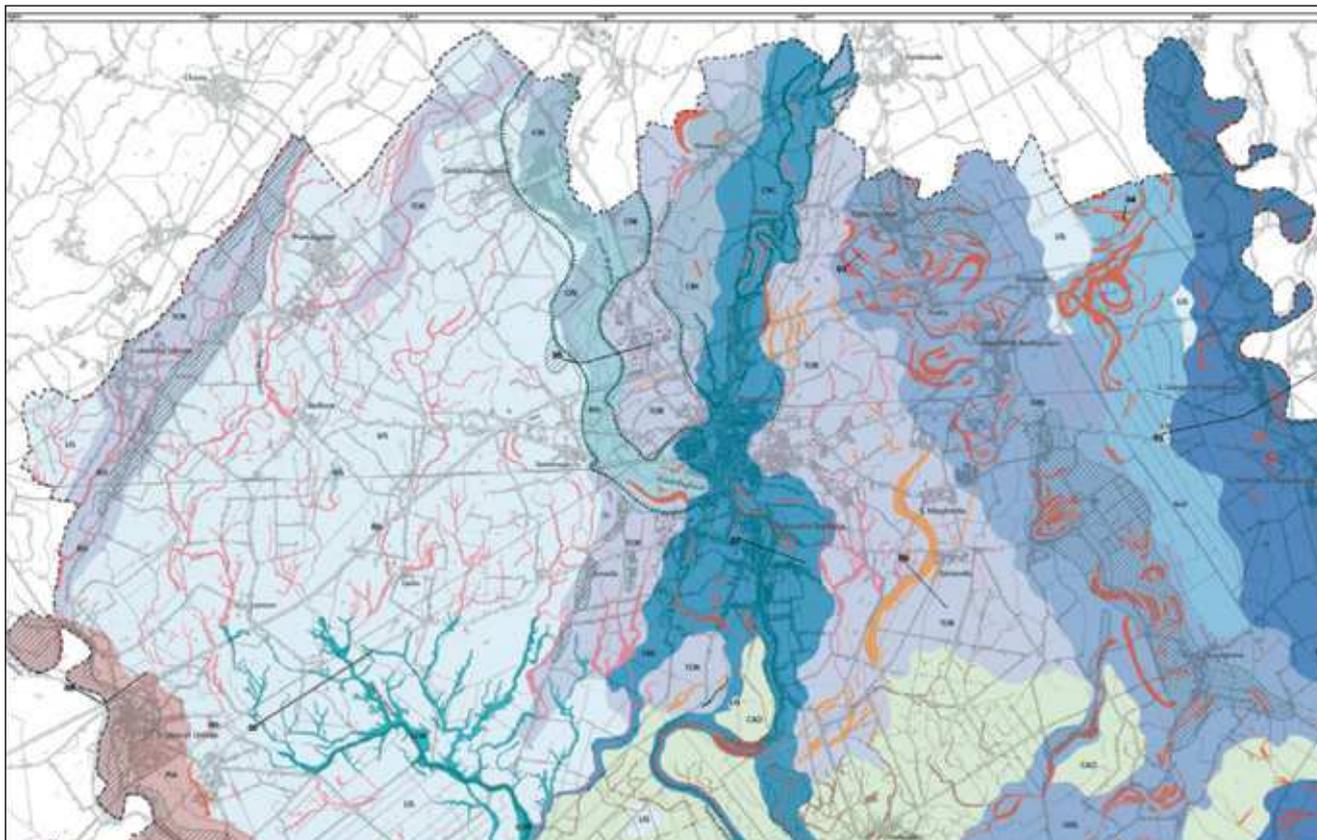


Fig. 15.4 - Stralcio relativo all'alto portogruarese della carta delle Unità Geologiche (BONDESAN *et al.*, 2008).

a Cinto Caomaggiore, dove raggiungono i 4-6 m di potenza e hanno diametro massimo di 10 cm; rimangono subaffioranti fino a Summaga, dove il loro spessore è di 4-6 m (sondaggio 771) con valore massimo di 9 m; immediatamente più a valle il tetto delle ghiaie si trova a 5-8 m di profondità presso Portogruaro, mentre giace a 10-12 m in corrispondenza di Concordia, dove lo spessore è variabile e può raggiungere i 10 m. Generalmente i clasti hanno qui un diametro di 2-3 cm, ma con esemplari che arrivano a 7 cm. Lungo l'alveo del Lemene le ghiaie sono affioranti fino al Mulino di Boldara ma, allontanandosi dal fiume, già poco a monte di questa località, sopra i sedimenti grossolani vi sono 3-5 m di limi e limi-sabbiosi corrispondenti medievali dell'unità di Concordia e forse anche di alcune fasi precedenti. Tra Portovecchio e Portogruaro il tetto delle ghiaie è a 4-6 m di profondità mentre più a valle la situazione coincide con quella descritta per l'incisione più occidentale;

- unità di Torresella (TOR) = appartiene al sistema alluvionale del Tagliamento; le ghiaie affiorano a nord dell'autostrada A4 e spesso presentano stratificazione incrociata tabulare e potenza di 3-4 m.

L'estrazione della ghiaia avviene principalmente nei letti dei fiumi (con draghe)⁶ oppure in terreni ghiaiosi con scavi a fossa (utilizzando scavatori e ruspe). Il materiale estratto viene portato negli impianti di lavaggio e/o frantumazione dove vengono separate le classi granulometriche desiderate.

15.2.10. La sabbia

La sabbia viene usata principalmente nel confezionamento del calcestruzzo, di sottofondi stradali e in altre applicazioni dell'edilizia.

Dall'archivio informatizzato del Servizio Geologico non risultano autorizzazioni concesse per cave di sola sabbia (anche se tale materiale è stato estratto in cave presenti nell'alto portogruarese in quanto associato a ghiaie). In archivio risultano invece varie pratiche che hanno per oggetto escavazioni abusive di sabbia concentrate soprattutto nella porzione centro-meridionale del territorio provinciale.

Un'altra modalità di estrazione di sabbia è il ricorso alla pratica del miglioramento fondiario. La normativa vigente prevede che, dopo l'autorizzazione rilasciata dalla Regione, siano Comune e Provincia a controllare che i lavori rispettino le modalità previste dal progetto.

Nella porzione meridionale del territorio provinciale sono concentrate numerosissimi miglioramenti fondiari che hanno alterato pesantemente la morfologia del suolo e il paesaggio agrario.

⁶ Si specifica che nel Veneto l'estrazione di sabbia e ghiaia dagli alvei e zone golenali dei corsi d'acqua è ammessa solo per la sicurezza e la buona regimazione delle acque sulla base di piani di estrazione predisposti dagli uffici regionali del Genio civile e approvati dalla Giunta regionale (L.R. n° 41/1988).

La presenza di sabbia in tale zona è dovuta a due ragioni principali:

- testimonia il transito delle antiche aste fluviali di Brenta, Bacchiglione, Adige e Po;
- testimonia la presenza di antichi depositi costieri associati alla progradazione del sistema deltizio del Po.

Dalla carta della Unità Geologiche (Tav. 10) le principali unità che contengono potenti depositi sabbiosi si trovano nei comuni di Cona, Cavarzere e Chioggia; in particolare:

- unità di Motte Cucco (MOT) = è costituita da depositi costieri formati a seguito della progradazione del sistema deltizio del Po; corrisponde all'ala sinistra di un delta bialare con foce nella zona dell'attuale corso dell'Adige.
- unità di Cavanella d'Adige (ADI) = è costituita da depositi costieri formati a seguito della progradazione del sistema deltizio del Po; corrisponde all'ala destra di un altro delta, successivo al primo, con foce posta in corrispondenza dell'antico Porto di Brondolo.

Entrambe le Unità sono costituite da un corpo sedimentario composito derivato dalla giustapposizione di cordoni litorali lateralmente continui posti a una profondità sempre minore procedendo da ovest verso est, a causa della migrazione verso il mare della linea di costa durante la crescita del delta. Lo spostamento dei cordoni litorali ha determinato la formazione, e il successivo isolamento, di lagune e paludi salmastre all'interno del corpo sabbioso tra i vari cordoni adiacenti.

I depositi delle due unità sono formati da sabbie medio-fini, talora limose, caratterizzate dalla presenza di conchiglie e aventi uno spessore massimo di circa 12 m; il limite superiore delle due unità coincide con la superficie topografica attuale, fortemente rimodellata dall'attività antropica recente che ha provocato lo spianamento pressoché completo delle antiche dune.

15.2.11. La torba

Dalla carta della Unità Geologiche (Tav. 10) le principali unità che contengono potenti depositi torbosi si trovano nei comuni di Cona e Chioggia, in particolare:

- unità dei Cuori (CUO) = è costituita da depositi di materiale organico e sedimenti prevalentemente limosi depositi in un ambiente palustre fluviale; tali depositi poggiano sui sedimenti alluvionali dell'Adige e del Po, mentre il limite superiore coincide con la superficie topografica rimodellata dalle bonifiche agrarie. Le torbe hanno spessore medio di circa 2 m fino a un massimo di 4-9 m. L'unità occupa un'area posta a una quota inferiore al livello del mare (da -1 a -4 m s.l.m.), situata a cavallo del Canale dei Cuori⁷. Questo territorio era ricoperto fino alla fine del XIX secolo da estese lagune e paludi successivamente bonificate⁸. L'elevata estensione delle paludi d'acqua dolce, caratterizzate dalla presenza di un'abbondante vegetazione a canneto, ha

creato le condizioni ideali per la formazione di torba. Lo spessore del materiale torboso si è ridotto nel tempo a seguito delle intense opere di bonifica del secolo scorso e delle migliorie fondiari ancora in atto. L'abbassamento del livello di falda causato dalle bonifiche agrarie ha poi portato a contatto con l'aria strati di materiale organico via via più profondi, innescando processi di decomposizione aerobica molto più veloci di quelli di tipo anaerobico che normalmente avvengono sotto falda⁹. La conseguente emissione di anidride carbonica con perdita di massa ha favorito il fenomeno della subsidenza¹⁰. Il Consorzio di Bonifica Adige-Bacchiglione (1996) ha stimato l'entità del processo di subsidenza all'interno del bacino Ca' Zennare tra il 1965 e il 1983. Il tasso medio di subsidenza è risultato di 2,8 cm/anno. Negli ultimi 50 anni tale fenomeno ha provocato l'abbassamento del terreno di circa un metro.

Ampie aree comprese all'interno dell'unità dei Cuori presentano un forte grado di rimaneggiamento antropico legato, in particolare, alle migliorie fondiari effettuate in questi ultimi anni, oltre che alla bonifica idraulica.

La torba viene usata principalmente nel confezionamento di terriccio per il giardinaggio e di ammendanti per l'agricoltura.

Dall'archivio informatizzato del Servizio Geologico risultano vari miglioramenti fondiari che hanno per oggetto l'asporto di torba. Gli agricoltori giustificano l'allontanamento della torba a causa dell'elevata acidità che comprometterebbe la produzione delle colture. In altri casi, nei terreni torbosi viene riportata sabbia allo scopo di dare "scheletro" allo strato attivo coltivabile.

15.3. USO DELLE ACQUE SOTTERRANEE

I prelievi di acque sotterranee nella provincia di Venezia vengono effettuati per scopi diversi, che dipendono dalla quantità e qualità delle acque disponibili e dalle caratteristiche delle attività economiche presenti sul territorio.

Schematicamente le acque vengono sfruttate per i seguenti scopi:

- acquedottistico, nei comuni di Scorzé e Gruaro;
- imbottigliamento, nel comune di Scorzé;
- potabile privato, quasi esclusivamente nell'alto miranese e nell'alto portogruarese;
- produttivo (irriguo, in tutta il territorio provinciale e in particolare nel comune di Scorzé e nel litorale del Cavallino; industriale, in tutto il territorio provinciale¹¹; zootecnico, in alcuni settori del portogruarese);

⁷ Vedi anche il capitolo 1 "Microrilievo" e la Tav. 1.

⁸ Vedi anche il capitolo 2 "Profilo storico" e le Tavv. 2 - 3.

⁹ Vedi anche il capitolo 6 "Suoli" e la Tav. 8.

¹⁰ Vedi anche il capitolo 16 "Subsidenza" e la Tav. 15.

¹¹ La zona industriale di Marghera viene alimentata con acque superficiali da un acquedotto industriale, in sostituzione dei numerosi pozzi utilizzati a questo scopo fino al 1975.

– domestico, in tutto il territorio provinciale.

Di particolare rilevanza è la presenza, in località Rio San Martino nel comune di Scorzè, di un campo pozzi di “Veritas” che fornisce acqua potabile ai comuni di Campagna Lupia, Campolongo Maggiore, Camponogara, Dolo, Fiesso d’Artico, Fossò, Mira, Mirano, Martellago, Noale, Pianiga, Salzano, Santa Maria di Sala, Scorzè, Spinea, Stra, Vigonovo. Un secondo campo pozzi è ubicato, sempre in comune di Scorzè, in località Canove.

A breve distanza dal campo pozzi di Rio San Martino sono ubicati i pozzi di uno stabilimento di acque minerali (la “San Benedetto”) che prelevano acque per imbottigliamento.

Nella planimetria di Tav. 14 “Sfruttamento delle georisorse: attività estrattive e acque sotterranee”, alla scala 1:100.000, relativamente al tema “acque sotterranee” sono localizzate sia le aree di maggiore sfruttamento (distinte tra quelle con maggior utilizzo della risorsa geotermica e quelle a elevato prelievo

Tipo di utilizzo	Numero (% sul totale)	Consumo (% sul totale)
Nessuno	10,0%	1,2%
Imbottigliamento	0,1%	14,0%
Potabile	19,5%	13,5%
Ornamentale	1,2%	0,4%
Industriale	5,7%	7,6%
Acquedottistico	0,8%	45,8%
Zootecnico	3,6%	1,9%
Irriguo	18,8%	5,3%
Altro	0,4%	0,0%
Fontana pubblica	5,0%	1,2%
Domestico	34,0%	8,6%
Non determinato	1,0%	0,6%
Totale	100%	100%

Tab. 15.1 - Prelievi di acque sotterranee suddivisi per tipo di utilizzo, sulla base dei rilievi effettuati su circa 4000 pozzi.

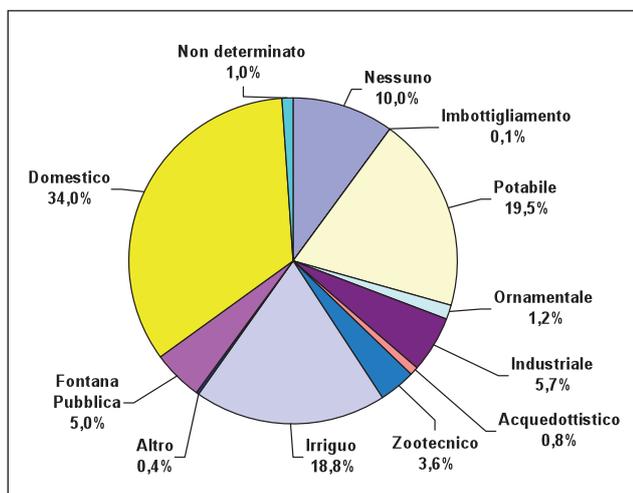


Fig. 15.5 - Suddivisione (percentuale sul totale) del numero di pozzi rilevati per tipo di utilizzo.

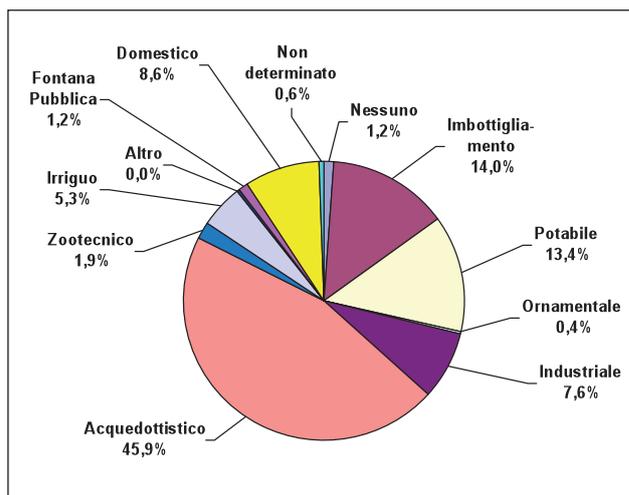


Fig. 15.6 - Suddivisione (%) delle portate censite per tipologia.

idropotabile autonomo) sia i pozzi rilevati (distinti per tipologia: acquedottistico, imbottigliamento, domestico, produttivo, fontana pubblica). Inoltre, vengono pure indicati i punti di presa acquedottistici da falda profonda fuori provincia.

La Tab. 15.1 e le Figg. 15.5 e 15.6 suddividono i pozzi e i prelievi censiti sulla base degli usi prevalenti. Si noti come la maggior parte dei pozzi esistenti risulti a uso domestico e potabile privato e come sia rilevante il numero di pozzi a uso irriguo.

Numericamente rilevante è anche la presenza di pozzi definiti “fontana pubblica”; si tratta di pozzi diffusi in tutta la provincia, in genere di proprietà comunale, che antecedentemente alla costruzione delle reti acquedottistiche garantivano l’approvvigionamento idrico di paesi e frazioni.

Nella Fig. 15.7 vengono sintetizzati i prelievi esistenti suddivisi in tre tipologie: acquedottistico, da area di concessione mineraria (acque minerali e termali) e da altri pozzi privati.

Se questi sono gli usi tradizionalmente presenti nel territorio provinciale, negli ultimi tempi si sta sviluppando, in relazione all’aumentato interesse verso le energie rinnovabili, un utilizzo delle acque sotterranee per il funzionamento di pompe di calore per il riscaldamento e il raffrescamento.

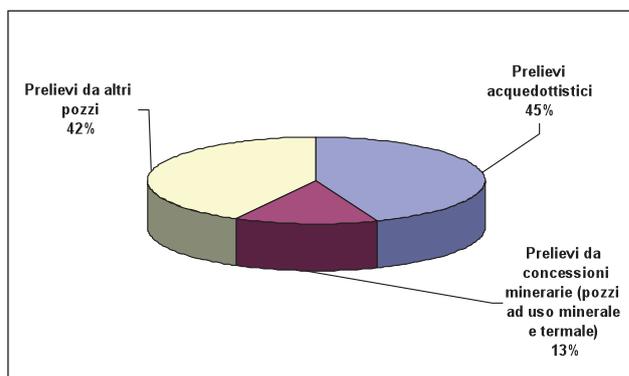


Fig. 15.7 - Portate prelevate suddivise (%) tra acquedotti, aree di concessione mineraria ed altri pozzi.

In relazione a questo uso, il territorio provinciale presenta molte aree in cui le condizioni appaiono favorevoli. Particolare attenzione va posta alla compatibilità geologica della realizzazione (corretta perforazione e cementazione) e gestione degli impianti (con o senza reimmissione nella stessa falda) in particolare per alcune aree: quelle di risorsa idropotabile e quelle soggette a subsidenza (in quest'ultime può essere utile la presenza della reimmissione in falda). Per questo uso della georisorsa si rimanda alla parte specificatamente dedicata al geoscambio¹².

Nell'uso dell'acqua, laddove i pozzi sono a erogazione spontanea, come già segnalato più volte in passato, è individuabile un rilevante spreco, dovuto alla consuetudine di mantenere in erogazione continua i pozzi.

Nei soli sette comuni del miranese (Scorzé, Noale, Martellago, Mirano, Salzano, Santa Maria di Sala e Spinea) sono stati censiti, negli anni '90, tramite un censimento "porta a porta", 1123 pozzi privati, una buona percentuale dei quali a erogazione spontanea. Per ogni pozzo è stata misurata la portata: in totale 584 l/s, pari circa a 50.000 m³/giorno. Tale portata rappresenta l'acqua che fuoriesce dai pozzi artesiani lasciati a erogazione libera, e *non utilizzata*.

La portata *effettivamente utilizzata* non è quindi compresa nel valore indicato, poiché l'acqua effettivamente utilizzata viene prelevata a monte della bocca bozzo (su cui si effettua la misura); il valore di questa portata è valutabile nell'ordine di pochi punti percentuali rispetto a quella misurata.

Quindi una grande quantità di acqua (che potrebbe soddisfare i fabbisogni di un acquedotto che alimenta circa 150.000 persone), spesso di ottima qualità, in alcuni settori della provincia, viene inutilmente dispersa nei fossi con un evidente impatto negativo per l'ambiente.

A causa di questo spreco la pressione delle falde sta registrando una progressiva diminuzione, tanto da privare in diverse zone le falde meno profonde della loro originaria spontaneità di erogazione.

15.4. UTILIZZO DELLA RISORSA TERMALILE

15.4.1. Stato di fatto dell'utilizzo

Nel capitolo 12 "Idrogeologia" si sono analizzate le risorse geotermiche presenti nel basso portogruarese. Nell'ambito degli studi effettuati dalla Provincia, dal Consorzio di bonifica Pianura Veneta tra Livenza e Tagliamento e altri Enti, si è svolta un'analisi dell'attuale uso della risorsa e si sono formulate linee guida per promuoverne un uso sostenibile.

I pozzi rilevati *in situ* e georeferenziati che prelevano acque classificabili geotermiche sono oltre 100 e vanno a interessare le tre falde (8-9-10; si veda il capitolo 12 "Idrogeologia") presenti a oltre 400 metri di profondità. A monte dell'area di anomalia geotermica, sulle stesse falde (cfr. Tav. 14) insistono circa altri 200 pozzi.

Dai rilievi eseguiti, i prelievi da queste falde sono stimati complessivamente in 120÷200 l/s; di questi, il 30% circa è prelevato per scopi effettivamente geotermici. Considerando anche le aree a monte dell'anomalia geotermica, i prelievi sono complessivamente pari a 320÷460 l/s. La portata media di emungimento risulta confrontabile con quella di ricarica del sistema idrogeologico.

Si ricorda che l'area termale ricadente nel territorio provinciale è solo una parte dell'area di anomalia geotermica e che per avere le uscite complessive dal bacino termale è necessario aggiungere i prelievi ricadenti nel Friuli Venezia Giulia. Inoltre rappresenta un'uscita dal sistema idrogeologico anche il prelievo dalle falde poste a monte in collegamento idrogeologico con le falde termali, sia nella parte di acquiferi confinati, sia nell'area di ricarica di acquifero non confinato.

D'interesse per l'analisi dello stato di fatto è anche l'uso prevalente dell'acqua prelevata, verificato nei censimenti dei pozzi effettuati nel 1997 e nel 2004.

La Fig. 15.8 riporta i pozzi censiti nell'area di anomalia geotermica (quindi anche quelli con profondità compresa tra 0 e 400 m) suddivisi in base all'uso prevalente. Circa la metà dei pozzi è utilizzato a scopi domestici¹³. Importanti per portata sono anche i prelievi a uso irriguo (17%) e di stabilimento termale (14%).

Anche in quest'area si è constatata l'abitudine di lasciare i pozzi artesiani a erogazione continua, anche quando l'acqua non viene utilizzata. Si tratta di un uso improprio di questa importante risorsa che comporta un ingiustificato depauperamento delle falde.

15.4.2. Prospettive di utilizzo secondo criteri di sostenibilità

Gli studi effettuati, da un lato, hanno dimostrato le potenzialità di un utilizzo di una risorsa "pulita" e rinnovabile e, dall'altro lato, un uso attuale caratterizzato da bassa efficienza e diffuso spreco.

L'impiego di un'energia alternativa e rinnovabile permette un significativo miglioramento ambientale in termini di riduzione di emissioni in atmosfera di anidride carbonica e di risparmio di risorse fossili. Ad esempio, nel caso di un uso ottimale per riscaldamento dome-

¹² Si ricorda che l'argomento è trattato nel capitolo 13 "Geoscambio" e nella Tav. 13.

¹³ L'uso termale non è compreso tra quelli definiti come "domestici". Infatti l'art. 93 del R.D. n° 1775/1933 dice: "Sono compresi negli usi domestici l'innaffiamento di giardini ed orti inserenti direttamente al proprietario ed alla sua famiglia e l'abbeveraggio del bestiame". Da un punto di vista normativo il prelievo di acque termali è invece soggetto alla relativa normativa (D.Lgs. 11 febbraio 2010, n° 22 "Riassetto della normativa in materia di ricerca e coltivazione delle risorse geotermiche, a norma dell'articolo 27, comma 28, della l. 23 luglio 2009, n. 99" e L.R. n° 40/89 "Disciplina della ricerca, coltivazione e utilizzo delle acque minerali e termali").

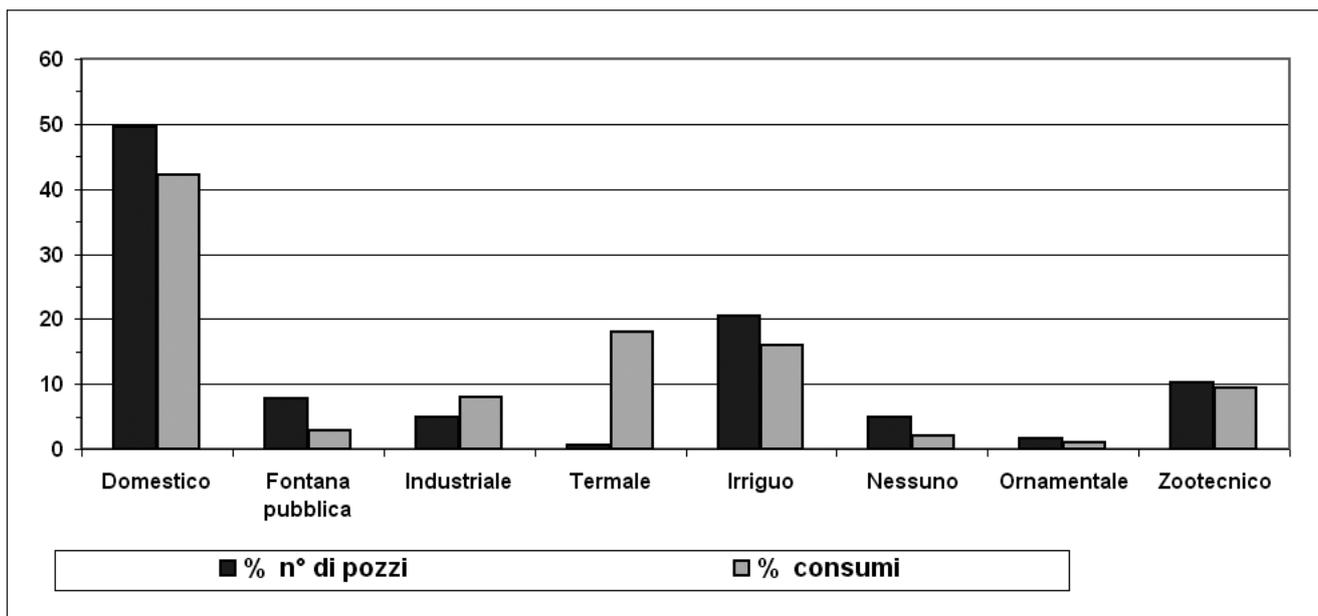


Fig. 15.8 - Suddivisione (%) dei pozzi censiti ricadenti nell'area di anomalia geotermica suddivisi in base all'utilizzo.

stico, si può quantificare un risparmio di emissioni di CO₂ quantificabile in circa 3,5 t/anno per ogni pozzo. Logica conseguenza degli studi idrogeologici è stato quello di affrontare anche i seguenti temi:

- quali sono le portate emungibili e quali sono i criteri da utilizzare per definire la sostenibilità dei prelievi?
- quali obiettivi sono prioritari per migliorare l'uso sostenibile di questa risorsa idrica e geotermica?

La risposta a tali quesiti presuppone la necessità di considerare diversi aspetti sia geologici e idrogeologici che tecnico-impianstistici.

Sulla base degli studi effettuati dal Consorzio di bonifica Pianura Veneta (ora Veneto Orientale) e dalla Provincia, si sono delineate delle linee guida per promuovere un uso sostenibile della risorsa; esse sono state fatte proprie dalla Regione con la DGRV n° 4105/2009 (*"Tutela, conservazione e salvaguardia delle falde acquifere sotterranee. Utilizzo delle risorse geotermiche a bassa entalpia mediante movimentazione di fluidi sotterranei. Disposizioni in merito alle modalità di riconoscimento di uso delle risorse geotermiche. L. 896/1986, D.P.R. 395/1991, L. 99/2009 e L.R. 40/1989"*).

Una gestione sostenibile della risorsa termale si basa sul raggiungimento dei seguenti *obiettivi*:

1. eliminazione degli sprechi;
2. aumento dell'efficienza energetica;
3. compatibilità geologica dei prelievi;
4. equilibrio idrogeologico.

Obiettivo 1 - Eliminazione degli sprechi

Si è valutato che circa il 50% della portata di acqua termale estratta attualmente risulta non utilizzata o utilizzata in modo non razionale.

L'eliminazione degli sprechi è quindi, da sola, in grado di rendere disponibile una portata di circa 200 l/s e quindi teoricamente anche di permettere la costruzione di nuovi punti di prelievo.

Al fine dell'eliminazione degli sprechi, gli strumenti proposti sono essenzialmente:

- contabilizzazione dei prelievi (installazione di contatori volumetrici);
- installazione di parzializzatori di portata;
- corretta progettazione e realizzazione dei pozzi.

Pur essendo attualmente i canoni concessori nel complesso bassi, e quindi non inficianti la convenienza economica, l'installazione di un contatore eliminerebbe la maggior parte degli usi a perdere e limiterebbe la depressurizzazione degli acquiferi.

Fondamentale è anche una corretta progettazione e costruzione dei pozzi. Infatti un pozzo ben costruito non presenta fenomeni di intasamento anche se non utilizzato per lunghi periodi¹⁴.

Obiettivo 2 - Aumento dell'efficienza energetica

Parallelamente alla limitazione degli sprechi andrebbe incrementata l'efficienza degli impianti di scambio termico che al momento appare complessivamente bassa.

Obiettivo 3 - Compatibilità geologica delle opere di captazione

Per tale aspetto si riprendono alcune indicazioni dal Piano di Tutela Acque della Regione Veneto, in particolare per la progettazione geologica delle opere di

¹⁴ Motivazione, peraltro fantasiosa, che spesso viene posta a "giustificazione tecnica" del mantenimento a getto continuo dei pozzi.

captazione, già ritenute valide per i pozzi per acqua ed estendibili anche ai pozzi geotermici.

La corretta progettazione e realizzazione di un pozzo ha una notevole importanza non solo al fine di un'efficacia ed economicità gestionale dell'opera, ma soprattutto al fine di tutelare lo stato quali-quantitativo delle acque sotterranee.

La progettazione e la Direzione Lavori Geologici nella costruzione di un pozzo può divenire lo strumento attraverso il quale ottenere non solo una corretta realizzazione dell'opera di presa, ma soprattutto la garanzia di protezione dell'ambiente geologico da lavori non correttamente inseriti. Il sistema della Direzione Lavori riprende la consolidata tradizione di altri settori (ad esempio quello edilizio) dov'è strettamente funzionale all'esecuzione dei lavori a regola d'arte e in conformità con le previsioni di progetto. Tale sistema può dare ricadute positive anche in termini di responsabilizzazione dei professionisti che operano nel settore idrogeologico e per le ditte di perforazione, che così disporrebbero di una figura che ha la responsabilità, anche rispetto alla committenza, della corretta esecuzione dei lavori.

Per tutti i nuovi pozzi è inoltre da prevedere l'esecuzione di *test* idrogeologici e geochimici e la realizzazione delle teste pozzo in modo che siano attuabili monitoraggi periodici e campionamenti.

Si osserva che con tali attività, in un circuito virtuoso, si andrebbero via via a incrementare le banche dati geologiche con dati che a loro volta permetterebbero di migliorare e dettagliare le modalità di gestione.

In quest'ambito, appare da attuare un collegamento tra le due Regioni interessate dal Bacino Termale al fine di poter effettuare una gestione inseribile in un'ottica di bilancio idrogeologico a scala di bacino. Sempre in un'ottica di collegamento tra le due Regioni

interessate, è auspicabile un adeguato monitoraggio del sistema idrogeologico.

Obiettivo 4 - Equilibrio idrogeologico

Nel caso in esame l'obiettivo dell'equilibrio idrogeologico è dato dalla eliminazione/limitazione dei fenomeni di depressurizzazione dell'acquifero.

L'equilibrio idrogeologico va ottenuto tramite un mantenimento dell'equilibrio tra *input* e *output* dal sistema. A tale scopo si indica come indispensabile una maggiore efficienza dei prelievi (eliminazione portate a perdere). L'equilibrio può teoricamente essere favorito, laddove tecnicamente possibile, tramite sistemi di ricarica.

Al fine di verificare l'efficacia degli interventi è necessario monitorare alcuni parametri del sistema idrogeologico (livelli piezometrici, temperatura, conducibilità elettrica delle acque ...) che permetterebbe la:

- verifica dell'effettiva sostenibilità dei prelievi;
- indicazione sulla possibilità e sul numero di nuove concessioni rilasciabili;
- verifica della presenza di pozzi non autorizzati (tramite l'individuazione di coni di depressione anomali).

Si osserva che il mantenimento delle pressioni è uno strumento che previene eventuali fenomeni di subsidenza correlati alla depressurizzazione degli acquiferi confinati.

Sintesi degli obiettivi e degli strumenti proposti per una gestione sostenibile della risorsa

La Tab. 15.2 sintetizza quelli che risultano i principali obiettivi di una gestione sostenibile di questa importante risorsa derivanti dagli studi idrogeologici e fatti propri dalla Regione Veneto con DGRV n° 4105/2009.

Obiettivi	Strumenti
<i>Eliminazione sprechi</i>	<ul style="list-style-type: none"> - regolarizzazione amministrativa - contabilizzazione dei prelievi - installazione di parzializzatori di portata - corretta progettazione e realizzazione dei pozzi
<i>Aumento dell'efficienza energetica</i>	<ul style="list-style-type: none"> - progettazione ingegneristica dei sistemi di utilizzo - installazione di parzializzatori di portata
<i>Compatibilità geologica dei prelievi</i>	<ul style="list-style-type: none"> - progettazione geologica dei punti di captazione (pozzi) - <i>standard</i> di riferimento per la progettazione e la realizzazione dei pozzi per acqua - direzione lavori geologici, con raccolta dati geologico-stratigrafici, geochimici e <i>test</i> idrogeologici sui nuovi punti di captazione
<i>Equilibrio idrogeologico</i>	<ul style="list-style-type: none"> - sistemi di ricarica degli acquiferi (reimmissione in falda) - contabilizzazione dei prelievi - installazione di parzializzatori di portata - sistemi di monitoraggio - regolarizzazione amministrativa

Tab. 15.2 - Sintesi degli obiettivi e degli strumenti proposti per una gestione sostenibile della risorsa.

DEPOSITI SABBIOSI SOMMERSI NELL'ALTO ADRIATICO

ANNAMARIA CORREGGIARI*, ALESSANDRO REMIA*, FEDERICA FOGLINI*, ANDREA GALLERANI*,
ROBERTO PIAZZA**, TIZIANO PINATO**

Gran parte delle aree costiere del pianeta è soggetta a fenomeni di erosione. Questo processo è causato sia dalla risalita del livello del mare, dovuta allo scioglimento delle coltri glaciali, alla subsidenza, e all'espansione termica delle masse oceaniche, sia dall'uso non sostenibile del territorio costiero e degli ambienti fluviali operato dall'uomo (imbrigliamento dei fiumi, costruzione di invasi artificiali, eccessiva estrazione di inerti in alveo, distruzione dei sistemi dunali, e un'elevata pressione turistica che induce ad aumentare la cementificazione della costa).

La naturale dinamica dell'ambiente costiero viene così compromessa e il mancato apporto dei sedimenti da parte dei fiumi produce frequenti fenomeni erosivi che si accentuano durante le mareggiate con conseguente riduzione della spiaggia emersa e sommersa a danno dell'ambiente naturale e delle attività economiche.

Per limitare l'erosione costiera, la Regione Veneto ha avviato vari interventi soprattutto con opere rigide (pennelli e scogliere emerse o sommerse) e con ripascimenti da cave e depositi sabbiosi sommersi. Lo studio dell'evoluzione del bacino adriatico durante l'ultimo ciclo glacio-eustatico ha permesso di individuare antichi sistemi costieri (depositi trasgressivi) modellati dai processi erosivi che hanno accompagnato la risalita del livello del mare. Le indagini attraverso metodi indiretti (profili sismo-acustici ad alta risoluzione) e diretti (vibrocarotaggi) hanno permesso di individuare i depositi con le migliori caratteristiche sia tessiturali che di continuità laterale. Proprio questi depositi, che rappresentano ciò che rimane di antiche spiagge, costituiscono ora una delle migliori risorse per il ripascimento delle coste in erosione. Infatti il vantaggio, nel medio e lungo termine, nell'utilizzare depositi sabbiosi sommersi si concretizza nel rimettere in gioco quantitativi di sedimento considerevoli che sono stati progressivamente sottratti al sistema costiero durante le fasi di innalzamento eustatico e permette di compensare, almeno in parte, la riduzione di apporti solidi dai fiumi.

La Regione Veneto ha quindi affidato nel 2006 all'ISMAR-CNR di Bologna l'incarico di "caratterizzare i depositi sabbiosi sommersi presenti sulla piattaforma alto adriatica, potenzialmente sfruttabili come cave di prestito per il ripascimento costiero".

La sabbia utilizzata per il ripascimento dev'essere di granulometria ottimale, che viene dedotta dall'analisi dei fattori cinetici che regolano i tratti di spiaggia da ripascere, come le correnti lungo costa, il moto ondoso, la topografia della spiaggia emersa e sommersa e le condizioni meteomarine generali.

La conoscenza di questi fattori farà sì che il nuovo materiale depositato sull'arenile sia in equilibrio dinamico con l'ambiente e possa permanere in posto per un periodo ragionevole.

I depositi sabbiosi sommersi per essere considerati potenzialmente sfruttabili devono avere i seguenti requisiti: volume estraibili di circa 1 milione di m³; presenza di materiale prevalentemente sabbioso con granulometria compatibile con quella delle spiagge da ripascere; spessore del livello sabbioso superiore al metro, estensione pari a circa 1,5 km². Preferibilmente i depositi sabbiosi dovrebbero essere privi di copertura pelitica perché questa potrebbe creare fenomeni di torbidità durante le operazioni di dragaggio. Inoltre è necessario considerare il mantenimento di un fondale sabbioso anche dopo il dragaggio per non alterare completamente la natura dell'area marina di cava.

Il progetto è stato organizzato in tre fasi: a) raccolta dati esistenti e individuazione dei siti da indagare escludendo tutte le aree marine limitate nel loro utilizzo da vincoli di qualunque genere, e la successiva organizzazione e controllo delle campagne geognostiche e geofisiche di dettaglio; b) interpretazione dei dati geofisici e geognostici acquisiti; c) individuazione dei potenziali siti di cava e relative cubature dei depositi sabbiosi.

Le indagini relative alle prime due fasi sono state completate, e la terza è attualmente in corso. Sono state scelte 3 aree tra le 11 indagate dove si stanno acquisendo i dati per la definizione dei giacimenti potenzialmente sfruttabili (Fig. 15.9).

Al completamento della terza fase si potrà passare alla raccolta di tutti i dati che caratterizzeranno gli aspetti ambientali delle aree di giacimento. Con campagne di monitoraggio preparate ad hoc verranno acquisiti tutti quei dati che serviranno a definire le caratteristiche ambientali dei fondali nelle aree di dragaggio secondo i protocolli proposti da ISPRA (ex ICRAM) ne "I quaderni Aspetti ambientali del dragaggio di sabbie relitte a fini di ripascimento: proposta di un protocollo di monitoraggio" (NICOLETTI *et al.*, 2006). Verranno indagati gli effetti di un possibile dragaggio sulle comunità bentoniche, sulla colonna d'acqua che potrà essere interessata da un aumento della torbidità durante le fasi del dragaggio stesso, e infine le caratteristiche chimiche dei sedimenti superficiali e profondi, e quelle microbiologiche dei sedimenti superficiali.

* CNR - ISMAR Sede di Bologna

** Regione del Veneto - Direzione Difesa del Suolo - Venezia

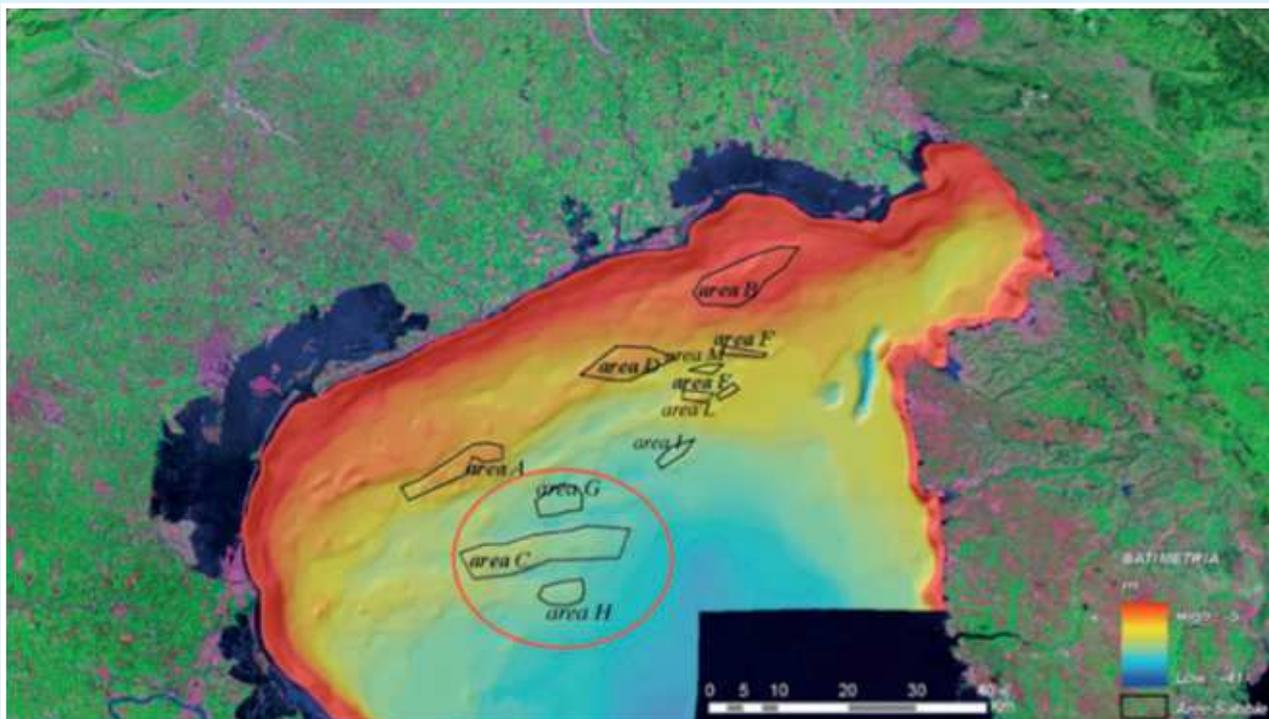


Fig. 15.9 - Distribuzione delle aree di indagine nella piattaforma alto adriatica. In evidenza (cerchio rosso) le aree dove i depositi sono stati oggetto di indagini più dettagliate perché potenzialmente sfruttabili per il ripascimento costiero. La batimetria della piattaforma (ottenuta con dati *single beam*) è rappresentata come rilievo ombreggiato con profondità compresa tra 5 e 47 metri.

I depositi sabbiosi presenti nella piattaforma adriatica, appartenenti al *system tract* trasgressivo (Carta Geologica dei Mari Italiani - Foglio NL 33-7 VENEZIA, TRINCARDI F. *et al.*, 2011) affiorano come accumuli discontinui di spessore e forma variabile e rappresentano quello che resta dei depositi costieri e di spiaggia smantellati durante l'ultima trasgressione marina. In particolare i depositi individuati al largo di Chioggia presentano una base disomogenea e poggiano su livelli torbosi di età glaciale (Fig. 15.10). Gli spessori del deposito sabbioso variano da 1,5 m a

3 m. Le dimensioni del diametro medio delle sabbie variano tra 0,214 e 0,176 mm. In una prima analisi i volumi utilizzabili, mantenendo uno strato sabbioso di rispetto sul fondale, sono di 24 milioni di m³ (Figg. 15.11 e 15.12).

Altri tipi di depositi sfruttabili che possono costituire un'alternativa vantaggiosa per interventi di ripascimento periodico di piccola e media entità sono gli alti morfologici delle bocche tidali o degli apparati di foce fluviale composti prevalentemente da sabbie.

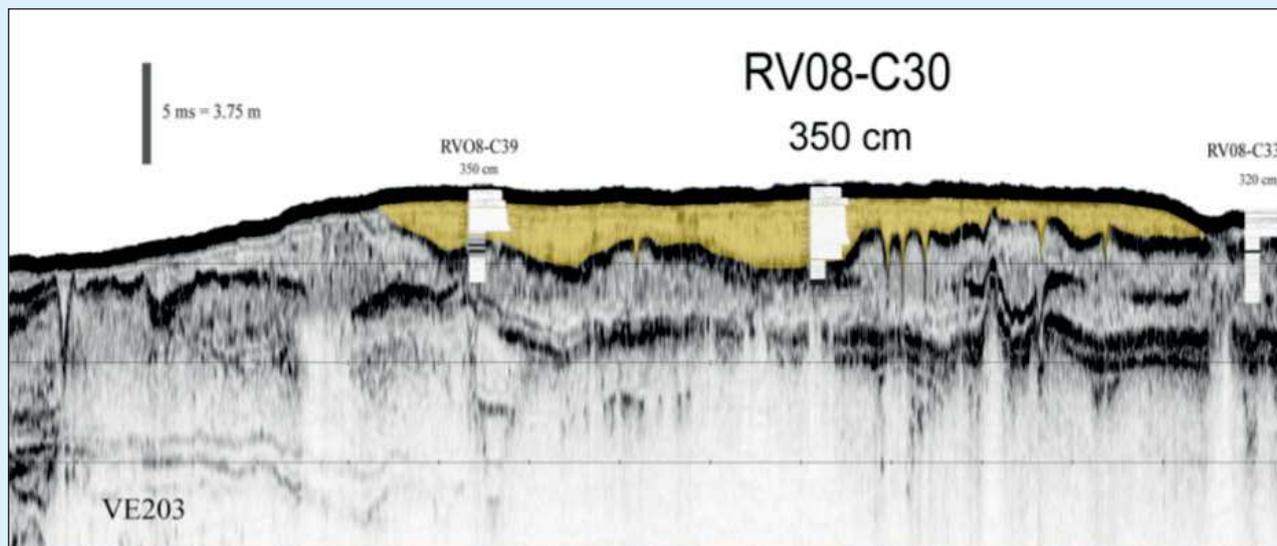


Fig. 15.10. Profilo sismoacustico *Chirp Sonar* acquisito nell'area C. Sono riportati gli schemi stratigrafici dei vibrocarotaggi acquisiti nella campagna geognostica del 2008.

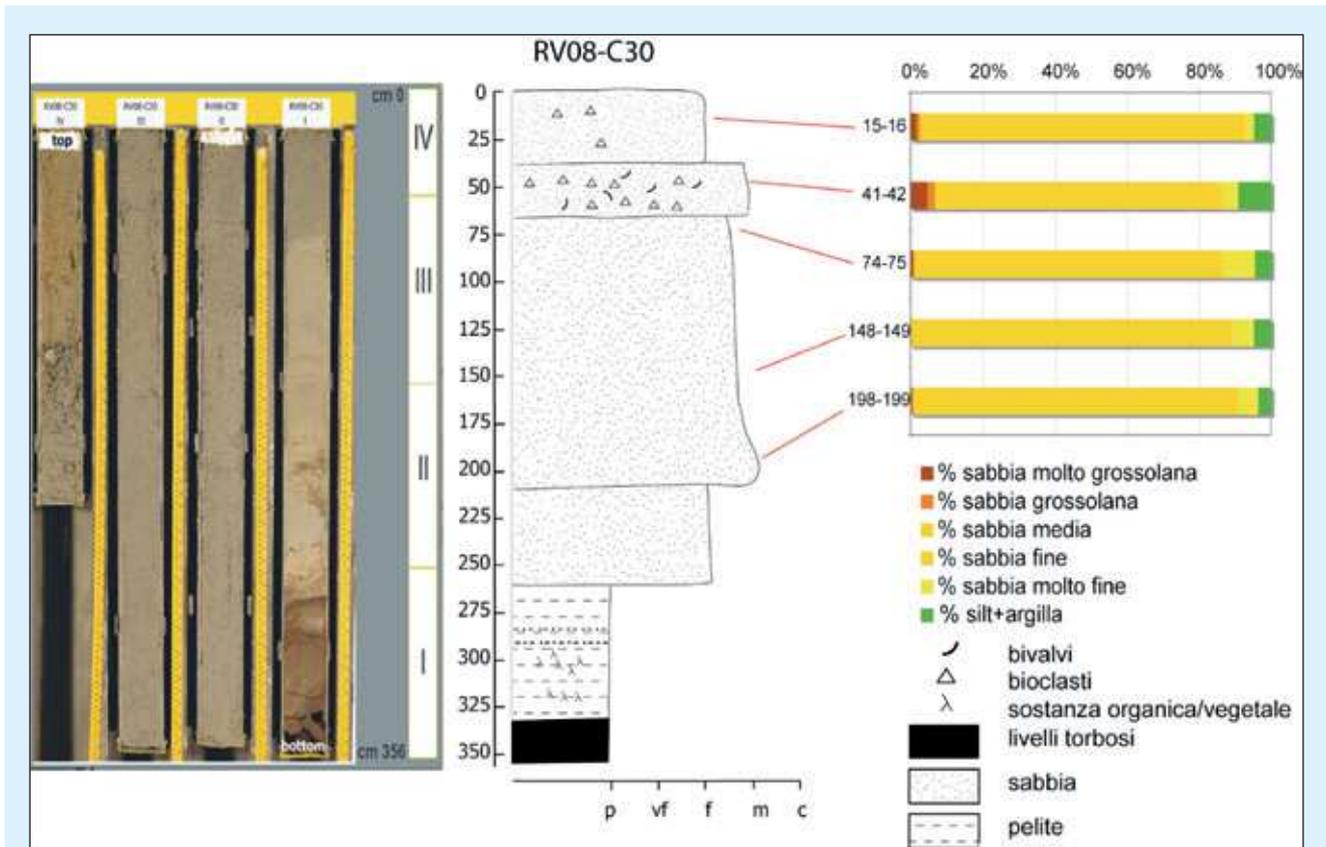


Fig. 15.11 - Esempio di vibrocarotaggio acquisito nell'area C. Durante le campagne geognostiche effettuate nel 2008 e nel 2011 sono stati acquisiti 286 vibrocarotaggi.

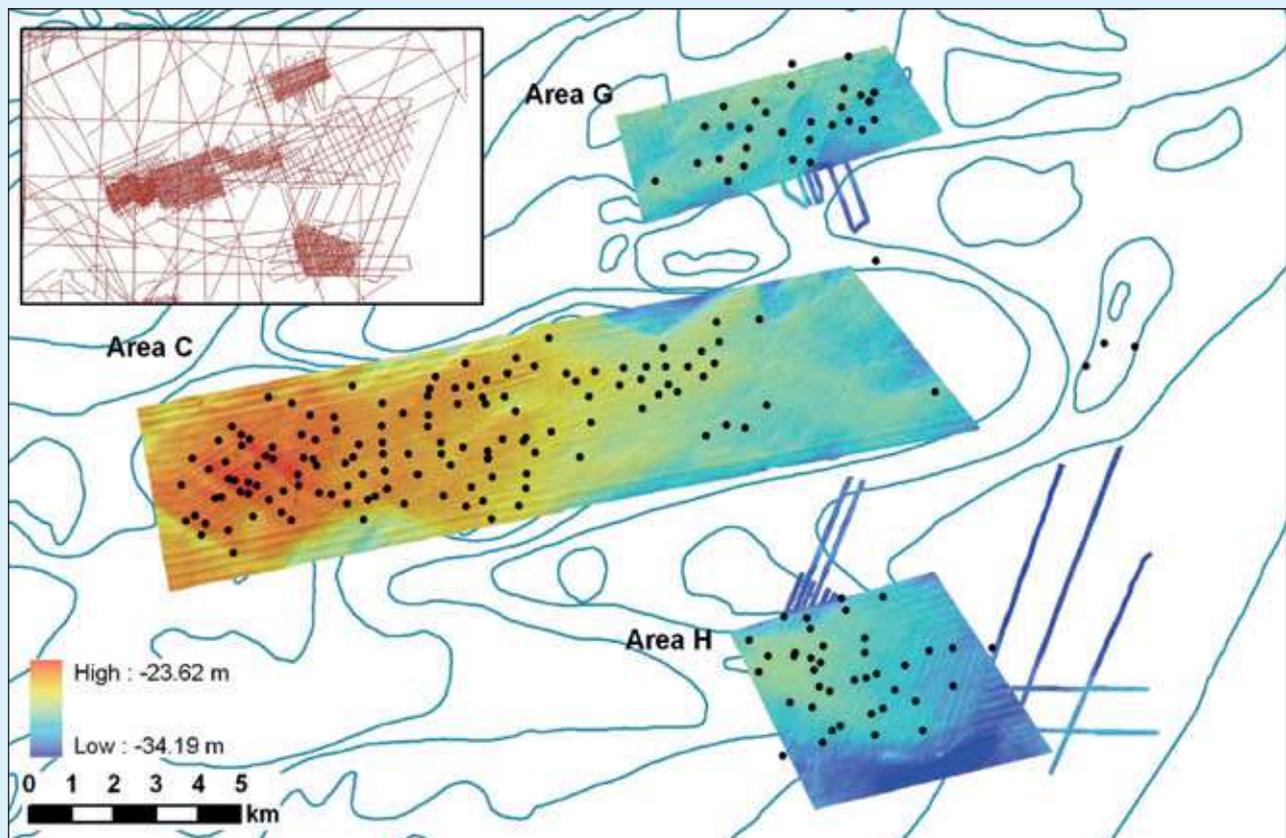


Fig. 15.12 - Nella mappa sono rappresentate le aree oggetto della terza fase del progetto di ricerca di depositi sabbiosi sommersi. Sono riportati i vibrocarotaggi effettuati e la batimetria rappresentata come rilievo ombreggiato acquisita con metodologia *multibeam* (tecnologia interferometrica). Nel riquadro sono riportate le tracce dei profili geofisici ad alta risoluzione utilizzati per interpretare i depositi della piattaforma alto-adriatica.

STUDI IDROGEOLOGICI E GESTIONE DELLA RISORSA IDRICA SOTTERRANEA

PIETRO ZANGHERI*

Gli studi idrogeologici che la Provincia ha progressivamente approfondito negli anni non sono mai stati disgiunti dal complesso tema della gestione della risorsa idrica sotterranea.

Come evidenziato nel testo, gli studi effettuati hanno indicato un uso spesso non razionale della risorsa idrica sotterranea, come testimonia la presenza di numerosissime "fontane a getto continuo", ma anche la presenza di numerosi pozzi in posizioni amministrative irregolari.

Le ragioni di tale fenomeno, sicuramente negativo per l'equilibrio idrogeologico del territorio, sono molteplici. In parte possono essere definite culturali, in quanto l'acqua sotterranea veniva (e forse viene tutt'ora) vista come una risorsa inesauribile ed il suo uso non veniva messo in relazione con lo sfruttamento di una risorsa pubblica.

Alla base del fenomeno dell'abusivismo vi è però anche una normativa che, da una parte, suddivide le competenze tra numerosi Enti, rendendo difficile una gestione unitaria e razionale e, dall'altra, prevede un *iter* di autorizzazione (riassunto nella Fig. 15.13) per le piccole derivazioni di acqua sotterranea così lungo e complesso da favorire l'abusivismo stesso.

In base a tale constatazione, gli studi della Provincia hanno formulato proposte che andassero nell'ottica di incrementare la qualità della progettazione e dell'esecuzione delle opere e di limitare gli sprechi di risorsa pregiata.

Positivo risulta che, in tempi recenti, la Regione Veneto ha iniziato a inserire regolamentazioni che favorissero la corretta progettazione e realizzazione dei pozzi. Nel Piano di Tutela delle Acque ha previsto l'obbligo di progettazione dei pozzi: *"al fine di garantire la tutela delle risorse idriche sotterranee e di prevenire fenomeni che possono arrecare danno all'equilibrio idrogeologico, la realizzazione di pozzi, con l'esclusione di quelli con profondità inferiore a 30 metri dal piano campagna e portata inferiore a 0,1 l/s come media giornaliera, e la realizzazione di sondaggi, con esclusione di quelli con profondità inferiore a 30 metri dal piano campagna, sono sottoposte a progettazione e direzione lavori. Il progetto deve prevedere modalità di realizzazione compatibili con la situazione geologica e idrogeologica del sottosuolo"* e ha altresì previsto che *"al termine dei lavori deve essere trasmesso alla Regione il profilo stratigrafico del foro corredato da schemi tecnici dell'opera, congiuntamente alla dichiarazione di regolare esecuzione dei lavori"*.

Con delibera 1599/2011 (di modifica del citato Piano di Tutela delle Acque) la Regione Veneto ha inoltre posto limitazioni alla più volte citata pratica dei pozzi a erogazione continua con la seguente previsione: *"per i pozzi a salienza naturale dovranno essere installati dispositivi di regolazione atti a impedire l'erogazione d'acqua a getto continuo, limitandola ai soli periodi di effettivo utilizzo. Sono vietati i pozzi a salienza naturale destinati all'utilizzo ornamentale (fontane a getto continuo): entro la data del 30 giugno 2012 i pozzi esistenti di tale tipologia (pozzi a salienza naturale destinati all'utilizzo ornamentale senza specifico impiego - fontane a getto continuo) devono essere chiusi con le modalità stabilite dall'amministrazione competente al rilascio delle concessioni."*

Nel caso di mancato rispetto di tale disposizione il Sindaco, previa diffida agli interessati, procede all'esecuzione d'ufficio a spese dell'inadempiente".

La stessa delibera prevede anche altri elementi di interesse nell'ottica di un corretto utilizzo della risorsa. Infatti, mentre in precedenza veniva vietata la perforazione di pozzi per acqua laddove presente la rete acquedottistica, con l'evidente conseguenza negativa di destinare risorse idropotabili anche a usi non pregiati (quali l'innaffiamento dei giardini), ora viene permessa la perforazione di pozzi da falde superficiali poco pregiate per scopi non pregiati.

Si tratta di novità che vanno in un'ottica più adeguata ad affrontare la gestione della risorsa idrica sotterranea, che non può più basarsi su generalizzati vincoli nell'uso della risorsa, ma che deve considerare la differenziazione riscontrata tra i diversi acquiferi e, in particolare, l'individuazione degli acquiferi d'importante valore idropotabile. Gli studi della Provincia permettono di contribuire alla definizione degli acquiferi di maggior pregio verso i quali orientare prioritariamente l'uso idropotabile e d'indirizzare gli altri usi verso gli acquiferi di minor pregio.

In generale, per una corretta gestione della risorsa, appare urgente valutare nuove modalità autorizzative con tempi certi e ragionevoli che, più che porre divieti, valorizzino la qualità della progettazione e l'esecuzione dei lavori con modalità rispettose dell'equilibrio idrogeologico.

* Geologo - Studio Tecnico Zangheri & Basso - Padova - www.progettazioneambientale.it

Il tema coinvolge aspetti tra loro diversi e correlati:

- ambientali*: limitare l'abusivismo vuol dire limitare pozzi mal costruiti che rappresentano un rischio per l'ambiente geologico (interconnessioni tra falde, depressurizzazione acquiferi, utilizzo di falde di pregio per usi non pregiati, mancata raccolta di informazioni geologiche - idrogeologiche indispensabili per la gestione della risorsa ...);
- produttive*: un pozzo per acqua è spesso un elemento indispensabile per lo sviluppo delle attività produttive;
- occupazionali*: per le ricadute sulle aziende di perforazioni e sull'indotto, sui Geologi professionisti che sarebbe impiegati a garanzia della corretta esecuzione delle opere a tutto vantaggio dei committenti e dell'ambiente;

- innovazione tecnologica*: il contrasto all'abusivismo favorirebbe lo sviluppo di attrezzature e tecniche di perforazione a minor impatto, favorendo le ditte disponibili a investire in adeguamenti tecnologici e professionali;
- erariali*: in quanto i pozzi abusivi eludono il canone dovuto per l'uso di acqua sotterranea che è un bene che appartiene al demanio dello stato;
- acquedottistici*: l'utilizzo, per scopi non potabili, di acqua prelevata da pozzi alimentati da acquiferi di bassa qualità naturale può permettere un risparmio di risorse idriche sotterranee di pregio, distribuite dalla rete acquedottistica e, quindi, la diminuzione del prelievo di risorse idropotabili.

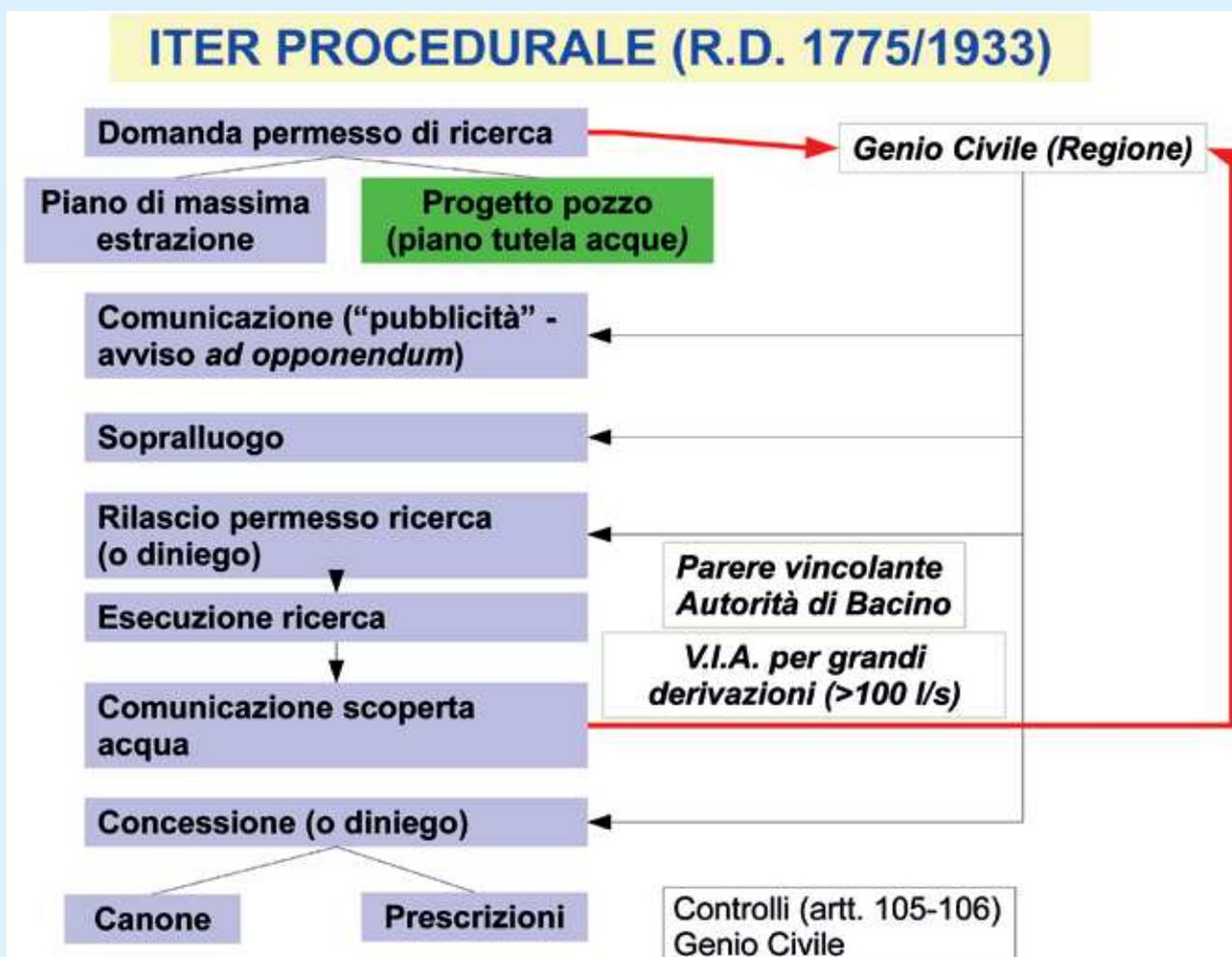


Fig. 15.13 - Iter d'autorizzazione per le piccole derivazioni di acqua sotterranea.

16 SUBSIDENZA

LAURA CARBOGNIN¹, PIETRO TEATINI¹, LUIGI TOSI¹, TAZIO STROZZI², ANDREA VITTURI³,
ANDREA MAZZUCCATO³

16.1. PREMessa

Con il termine “subsidenza” si intende ogni movimento di abbassamento della superficie terrestre indipendentemente dalla causa che lo ha prodotto, dal suo sviluppo areale, velocità di esplicazione, evoluzione temporale e alterazioni ambientali che ne conseguono. La subsidenza è l'ultimo stadio, e il risultato in superficie, di una serie di processi che si sviluppano nel sottosuolo e che, in qualche modo, sono correlati alla struttura geologica/geomeccanica del territorio; particolari caratteristiche dei terreni possono infatti favorire, accelerare o impedire tali processi. In generale, la subsidenza avviene in modo differenziale nel tempo e nello spazio con tassi di abbassamento annui variabili dal millimetro al centimetro e un'estensione dell'area coinvolta da locale a regionale.

La subsidenza avviene per cause sia naturali sia antropico-indotte che talora si sommano nella risultante. L'intervento dell'uomo agisce spesso da “catalizzatore”, influenzando in modo considerevole il fenomeno, o da “promotore” determinandone l'innescio. In genere l'abbassamento del suolo legato a cause naturali si sviluppa a scala regionale e ha un'evoluzione lenta, avvertibile in tempi storici o addirittura geologici; non producendo effetti immediati sul territorio passa spesso inosservata. La subsidenza antropica invece si esplica di regola in tempi relativamente brevi (al massimo qualche decina di anni), ha un'espansione territoriale più limitata ma con effetti che possono compromettere fortemente l'ambiente, le opere e le attività umane nel caso in cui non si intervenga con azioni di controllo e gestione.

Le principali cause di subsidenza naturale sono attribuibili a processi tettonici profondi (movimenti orogenetici, attività vulcanica e attività sismica), all'abbassamento del substrato pliocenico per il carico geostatico (peso dei sedimenti sovrastanti), a trasformazioni chimico-fisiche (diagenesi) dei sedimenti per effetto del carico litostatico, alla compattazione naturale dei sedimenti non consolidati depositatisi sullo strato pliocenico, a movimenti isostatici. Altre cause minori e/o concomitanti possono essere riconosciute nelle modifiche dello stato fisico, ad esempio a seguito del prosciugamento naturale di bacini lacustri o lagunari con processi di compattazione e ossidazione di materiali organici.

La subsidenza antropica più diffusa sia per estensione che per magnitudo del fenomeno è quella indotta dalla compattazione del suolo generata dallo sfruttamento eccessivo di fluidi sotterranei. L'acqua è senza paragoni il fluido più estratto, ma la produzione di idrocarburi, petrolio e gas, anche in associazione tra

loro o con acqua, è altresì causa di subsidenze elevate. Benché vi siano differenze “geologico-territoriali” nelle aree dove i fluidi sono estratti, i principi che regolano il rapporto causa-effetto sono sostanzialmente gli stessi. A seguito del prelievo la pressione originaria del fluido sotterraneo diminuisce causando un incremento della tensione effettiva tra i grani della formazione; questo incremento provoca una deformazione della matrice solida del terreno, a seguito del “riassetamento” dei grani, e quindi una compattazione cui consegue una riduzione dello spessore che si traduce in un abbassamento della superficie del suolo.

Anche le bonifiche, soprattutto quelle idrauliche, rappresentano una delle trasformazioni antropiche all'ambiente che comporta seri problemi di subsidenza. In genere il tasso di abbassamento dei suoli bonificati, ossia la velocità di esplicazione, è direttamente proporzionale all'abbassamento della falda freatica e si realizza per due processi principali: uno geomeccanico, che comporta la riduzione di volume per compattazione, e uno biochimico che avviene per ossidazione dei terreni ad alto contenuto organico (torbe). In questo caso il drenaggio intenso dei terreni bonificati fa sì che i suoli torbosi, venuti a contatto con l'atmosfera, si ossidino e perdano massa rilasciando nell'atmosfera CO₂ (Fig. 16.1).

Anche l'estrazione di materiali solidi dal sottosuolo può provocare subsidenza. Questo processo differisce sensibilmente da quello per estrazione di fluidi. Esso si esplica sia con graduale abbassamento dei terreni a copertura dell'intera miniera (depressioni della superficie del suolo) sia con improvvisi collassi dei singoli cunicoli della miniera (buchi in superficie). La coltivazione di miniere, ad esempio giacimenti di carbone o di sali, ha talora indotto effetti disastrosi sul territorio, anche su vaste superfici, ma con tempi di realizzo anche superiori al secolo e successivi alla chiusura della stessa miniera. Il tempo richiesto per il verificarsi di fessurazioni o cavità in superficie appare ancora aleatorio, per cui, contrariamente a quanto si fa per i fluidi, è assai difficile sviluppare modelli matematici di previsione, sia temporale che di magnitudo, del fenomeno.

A completamento di questa sintesi informativa, va menzionato anche l'abbassamento del suolo per applicazione di carichi in superficie (edifici, rilevati ecc). Il processo di compattazione che avviene per un sovraccarico in superficie, su terreni non consolidati,

¹ Istituto di Scienze Marine, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Venezia.

² Gamma Remote Sensing (Svizzera).

³ Provincia di Venezia - Servizio Geologico e Difesa del Suolo.

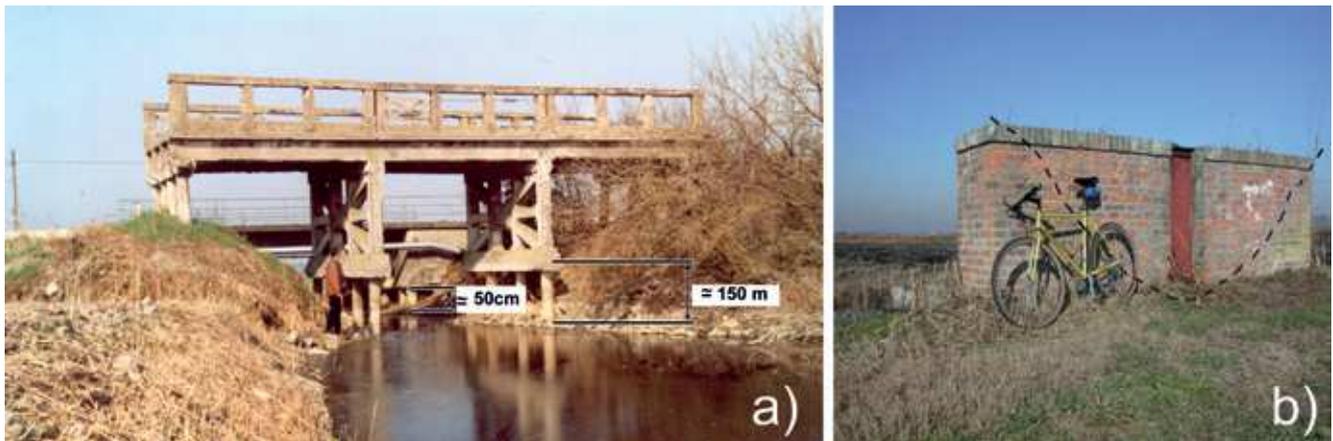


Fig. 16.1 - Effetti della subsidenza indotta dall'ossidazione dei terreni organici: a) In primo piano il vecchio ponte costruito negli anni '20 con i piloni estrusi per oltre 150 cm. Sullo sfondo il nuovo ponte con i piloni estrusi per circa 50 cm (da TOSI *et al.*, 2000). b) Una vecchia chiusa, costruita originariamente per bloccare il flusso d'acqua in un canale di scolo, è completamente protrusa sopra il piano campagna. La linea a tratteggio indica la traccia della sezione del canale secondo quella che doveva essere la sua ubicazione originale (da GAMBOLATI *et al.*, 2005).

è lo stesso di quello che si esplica per estrazione di fluidi, ovvero un aumento della tensione intergranulare efficace che provoca una diminuzione dello spessore dei sedimenti. Va comunque specificato che in generale questi fenomeni sono limitati alle aree di intervento, e pertanto è più corretto parlare di "consolidazione" piuttosto che di "subsidenza".

Il tasso di subsidenza si quantifica confrontando le quote altimetriche del suolo rilevate in momenti temporali successivi; le misure possono essere acquisite utilizzando diverse tecniche, sia "da terra" che "remote", ma che in comune hanno necessariamente lo stesso riferimento ad un punto "stabile" o del quale è noto il movimento. E' infatti difficile assicurare la completa stabilità di un punto e ritenerlo quindi verticalmente fisso; tuttavia presentando alcune zone movimenti decisamente limitati, e quindi trascurabili rispetto a quelli indotti dal processo di subsidenza che interessa studiare, queste si possono assumere stabili e quindi di riferimento senza influenzare il risultato.

16.2. INTRODUZIONE

Con l'elaborazione di una mappa della subsidenza del comprensorio lagunare veneziano per il periodo 1973-1993 si concluse il primo ciclo di studi sulla subsidenza della laguna e della città di Venezia (CARBOGNIN *et al.*, 1994; CARBOGNIN & TOSI, 1995; CARBOGNIN *et al.*, 1995; TEATINI *et al.*, 1995) quale tema prioritario delle ricerche per la salvaguardia condotte presso ISDGM-CNR (oggi ISMAR-CNR, Venezia). Furono individuate due aree a diverso comportamento altimetrico, una stabile o quasi-stabile, corrispondente alla laguna centrale ivi compresa Venezia, e un'altra subsidente, corrispondente alle estremità lagunari e parte dei litorali. Se da un lato i risultati rassicuravano sull'arresto della subsidenza indotta dai pompaggi industriali di acque sotterranee, e sulla stabilità della città lagunare, dall'altro attestavano la necessità di approfondire ed ampliare le ricerche sul processo subsidenziale sia dal punto di vista territoriale,

uscendo dai confini lagunari in senso stretto, che delle sue componenti, che metodologico. Sul finire degli anni novanta sono stati iniziati alcuni studi che hanno interessato il comprensorio meridionale dove, per le caratteristiche geomorfologiche del territorio, la subsidenza induce un serio impatto ambientale e socio-economico; in seguito l'analisi si è ampliata verso le aree nord-orientali, e poi a quelle centrali, della provincia di Venezia.

Ciò è stato possibile grazie a specifici progetti, molti dei quali promossi dalla Provincia di Venezia, e in particolare dal Servizio Geologico provinciale, col supporto di numerosi Enti pubblici quali Magistrato alle Acque di Venezia (MAV), Provincia di Padova, diversi Comuni e Consorzi di bonifica, che sono stati condotti e cofinanziati dal CNR di Venezia (Fig. 16.2).



Fig. 16.2 - Limite territoriale della provincia di Venezia (linea bianca) con evidenziate le aree di interesse dei progetti sviluppati per lo studio della subsidenza: linea gialla Progetto VENEZIA, dell'Agenzia Spaziale Europea e condotto dal CNR-ISMAR; linea verde Progetto ISES, linea blu IRMA, linea rossa Progetto ERA.

Di fondamentale importanza sono risultati i Progetti:

- ISES (*Intrusione Salina E Subsidenza*) impostato nel 1999 e conclusosi nel 2002, che ha annoverato fra i suoi scopi quello di istituire una rete di monitoraggio altimetrico nelle aree del bacino scolante meridionale (TOSI *et al.*, 2000; CARBOGNIN & TOSI, 2003) (Fig. 16.3);
- IRMA (*Integrazione Rete di Monitoraggio Altimetrico*) che, con lo stesso scopo, ha interessato le aree provinciali nord-orientali, comprese tra il margine lagunare settentrionale e il Fiume Tagliamento (Fig. 16.4) e si è svolto nel triennio 2004-2006 (TOSI *et al.*, 2007a);
- ERA (*Estensione della Rete Altimetrica ISES-IRMA*), realizzato nel periodo 2008-2010, che ha completato la rete altimetrica provinciale, carente nell'area centrale (Fig. 16.5).



Fig. 16.3 - Rete di monitoraggio altimetrico ISES istituita nel 1999.



Fig. 16.4 - Rete di monitoraggio altimetrico IRMA istituita nel 2004.



Fig. 16.5 - Rete di monitoraggio altimetrico ERA istituita nel 2009.

Si intende qui fornire una visione sinottica della subsidenza media del territorio della provincia di Venezia per il decennio 1992-2002 nel quale sono a disposizione misure altimetriche confrontabili e derivanti dall'integrazione di diverse tecniche di monitoraggio.

Fino al 2000 i rilievi altimetrici si sono basati su linee di livellazione che si sviluppavano lungo un percorso circumlagunare con partenza da capisaldi stabili pedemontani e trevigiani (a Venezia, che per importanza è sempre stata l'area più studiata e controllata, esisteva già una fitta rete di capisaldi). Con i nuovi progetti sono state istituite nuove linee di livellazione e contemporaneamente approfondite le tecniche di monitoraggio della subsidenza basate su misure satellitari con il GPS, e, più recentemente, con l'analisi di immagini radar di tipo SAR.

Con l'intendimento di potenziare le possibilità e la qualità del monitoraggio, sia in specifiche aree di interesse che a più ampia scala, è stata quindi sviluppata un'originale procedura di integrazione dei risultati forniti dalle diverse metodologie, cioè livellazioni, GPS differenziale e in continuo, interferometria satellitare convenzionale (InSAR) e interferometria su riflettori puntuali (IPTA), in modo da superare i limiti di ogni singola tecnica di rilevamento. Tale sistema di monitoraggio integrato (SIMS) (cfr. § 16.5) ha permesso di ricostruire gli spostamenti verticali di vaste aree con elevata risoluzione spaziale e precisione verticale millimetrica (TEATINI *et al.*, 2005).

La mappa prodotta, che riporta le isolinee di velocità di abbassamento del suolo (isocinetiche) con una rappresentazione utile ai fini della pianificazione territoriale (1:50.000 nell'originale), è una rielaborazione della mappa a scala regionale realizzata attraverso il SIMS nel 2005 (CARBOGNIN *et al.*, 2005b; TEATINI *et al.*, 2005). La mappa è integrata da una tabella di classi di criticità redatta in funzione dell'assetto morfologico del territorio (v. Tab. 16.2).

16.3. SCOPI E LIMITI

Lo scopo di questo lavoro è quello di descrivere in modo schematico i risultati ottenuti in termini di velocità di abbassamento del suolo per facilitare la traduzione da valori quantitativi a informazioni descrittive più generali ma indicative dei vari livelli di gravità del fenomeno.

E' bene sottolineare che esula dai nostri intenti indagare sulle cause del processo subsidenziale; ciononostante verranno riportate alcune considerazioni sulle sue componenti e sui meccanismi che lo originano per poterne meglio comprendere l'entità e la distribuzione spaziale.

La determinazione precisa delle cause degli abbassamenti del suolo richiede infatti studi specifici e complessi, in parte già condotti in altra sede (CARBOGNIN *et al.*, 1981; 2005a; TOSI *et al.*, 2009a). E' utile rammentare che in un territorio molto esteso e con assetto fisiografico variabile e articolato come quello della provincia di Venezia, le cause di subsidenza oltre ad essere molteplici (sfruttamento di acque sotterranee, consolidazione naturale di depositi recenti, ossidazione dei terreni organici, salinizzazione delle acque interstiziali, tettonica) sono anche generalmente concomitanti (TOSI *et al.*, 2009a; TOSI *et al.*, 2010). La loro determinazione richiede diverse e ulteriori conoscenze ad esempio sul sistema acquifero e sul tipo di emungimenti, sulle sequenze litostratigrafiche e altre tipologie di misure, quali il monitoraggio stagionale dei livelli piezometrici, nonché tutta una serie di analisi *in situ* e in laboratorio per la determinazione dei caratteri geologici, geotecnici e idrogeologici dei terreni. Attraverso il monitoraggio altimetrico si definisce solamente la magnitudo del processo in atto.

Si fa presente inoltre che, malgrado l'estesa copertura areale dei dati esistenti per il rilievo altimetrico, i bacini lagunari di Venezia, Caorle e Bibione non sono coperti dalla rete di monitoraggio. Infatti gli specchi d'acqua non si prestano a misure altimetriche e le tecniche di controllo sia tradizionali che satellitari risultano, qualora possibili, molto dispendiose in termini economici.

La necessità del monitoraggio di queste aree è oggi un fatto appurato, e nel 2003 è iniziata la sperimentazione delle misure satellitari dei movimenti verticali del bacino lagunare attraverso l'istituzione di appositi riflettori artificiali (CR) (cfr. § 16.4.4.2). Verificata la loro efficacia, nel 2006 (Progetto INLET-1 con finanziamento del MAV) è stata installata una rete di circa 60 CR per il monitoraggio della subsidenza nel bacino lagunare veneziano (Progetto INLET-2).

16.4. DATI UTILIZZATI E METODOLOGIE DI ANALISI

I dati altimetrici utilizzati sono stati direttamente acquisiti ed elaborati dal Gruppo di Lavoro per lo Studio dei Movimenti del Suolo, costituito da ricercatori del CNR

ISMAR Venezia, del DMMMSA (Università di Padova) e di GAMMA REMOTE SENSING (Svizzera).

16.4.1. Dati disponibili

La carta della subsidenza del territorio afferente alla provincia di Venezia è stata realizzata utilizzando i dati disponibili provenienti dalle seguenti ricerche:

- Progetto Finalizzato CNR "Sistema Lagunare Veneziano" (completato nel 1993): si tratta di livellazioni eseguite da ISDGM (oggi ISMAR) del CNR (CARBOGNIN *et al.*, 1994; CARBOGNIN & TOSI, 1995);
- Progetto ISES (2002): ripetizione delle livellazioni lungo le linee del 1993 e misure GPS differenziale (DGPS) nel 2000 e 2003 sulla rete istituita nell'ambito del progetto (TOSI *et al.*, 2000; CARBOGNIN & TOSI, 2003);
- Progetto "SOPAC": misure GPS in continuo (CGPS) su stazioni permanenti installate dal MAV (2003);
- Progetto VENEZIA: Interferometria Differenziale SAR (InSAR) e analisi SAR su riflettori puntuali (IPTA) per il periodo 1992-2002 (STROZZI *et al.*, 2003) sull'intero *frame* n. 2691 dei satelliti ERS1/2 dell'Agencia Spaziale Europea (ESA).

La Tab. 16.1 riepiloga le serie di dati utilizzati per questo lavoro e i progetti di riferimento.

Nei paragrafi successivi vengono riportate le ubicazioni delle diverse tipologie di dati altimetrici presenti all'interno del territorio provinciale di Venezia ed utilizzati per l'elaborazione integrata.

	Livellazioni	DGPS	CGPS	InSAR	IPTA
Progetto Finalizzato CNR	x				
Progetto ISES	x	x			
Progetto SOPAC			x		
Progetto VENEZIA				x	x

Tab. 16.1 - Tabella riassuntiva dei dati utilizzati.

16.4.2. Livellazioni

Le livellazioni analizzate si riferiscono alle misure ISDGM-CNR del 1993 e a quelle ISES del 2000. Le misure idonee al confronto altimetrico tra i due rilievi sono relative ai capisaldi ubicati in Fig. 16.6.

16.4.3. GPS

La rete di monitoraggio complessiva, che si sviluppa per oltre 1500 km, comprende 170 capisaldi che costituiscono la rete GPS.

16.4.3.1. GPS differenziale (DGPS)

I capisaldi GPS confrontabili sui quali sono state effettuate misure differenziali in modalità statica con sessioni temporali di 4-8 ore sono riportati in Fig. 16.7.

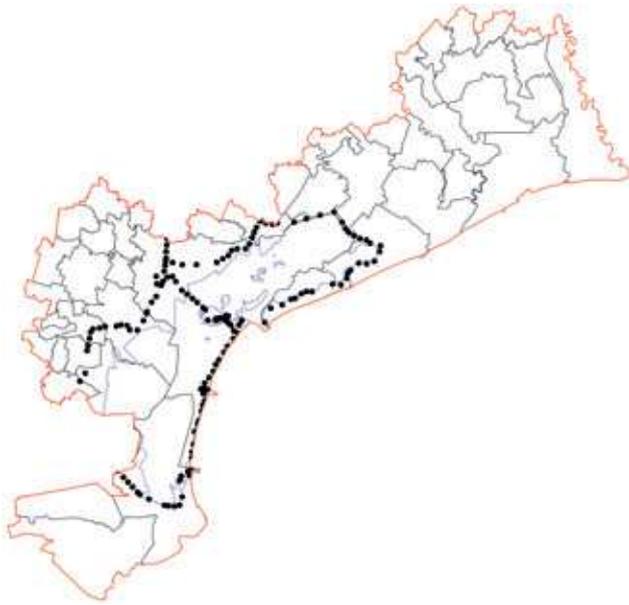


Fig. 16.6 - Ubicazione dei capisaldi di livellazione presenti in provincia di Venezia idonei alla quantificazione della subsidenza nel periodo 1993-2000.

Il confronto si riferisce alle misure ISES condotte negli anni 2000 e 2003.

16.4.3.2. GPS in continuo (CGPS)

Nel territorio provinciale sono state istituite alla fine degli anni '90 tre stazioni GPS permanenti delle quali si dispone di una serie significativa di misure: la stazione ASI di Venezia e le due stazioni del Magistrato alle Acque a Chioggia e a Cavallino. La loro ubicazione è riportata in Fig. 16.8.

Si fa presente che recentemente le stazioni CGPS ubicate nel territorio provinciale sono aumentate; si citano come esempio quelle all'Arsenale e al Lido (ISMAR-CNR) e quelle a Marghera (Morgan srl).

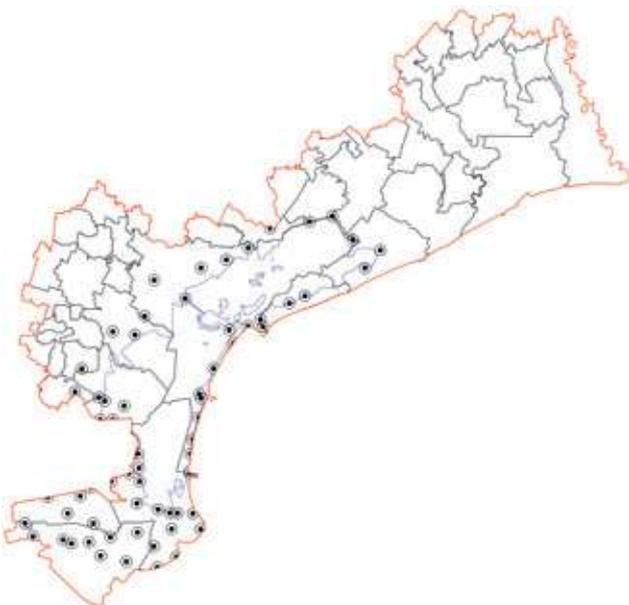


Fig. 16.7 - Ubicazione dei capisaldi DGPS utilizzati per la quantificazione della subsidenza presenti in provincia di Venezia.

16.4.4. Interferometria SAR

I dati utilizzati sono relativi alle elaborazioni eseguite nel Progetto "VENEZIA" finanziato dall'Agenzia Spaziale Europea (ESA) al quale hanno partecipato ISMAR-CNR (Venezia) e Gamma Remote Sensing. Si tratta di elaborazioni delle immagini radar acquisite dai satelliti ERS-1 e ERS-2 di ESA.

Le elaborazioni interferometriche sono state condotte con entrambe le metodologie di analisi attualmente a disposizione che sono caratterizzate agli acronimi InSAR e IPTA.

16.4.4.1. InSAR

InSAR (*Interferometric Synthetic Aperture Radar*) è una tecnica sviluppata all'inizio degli anni '90 che ha raggiunto risultati significativi in termini di accuratezza tanto da poter integrare, o sostituire in molti casi, le misure tradizionali nel controllo delle aree subsidenti.

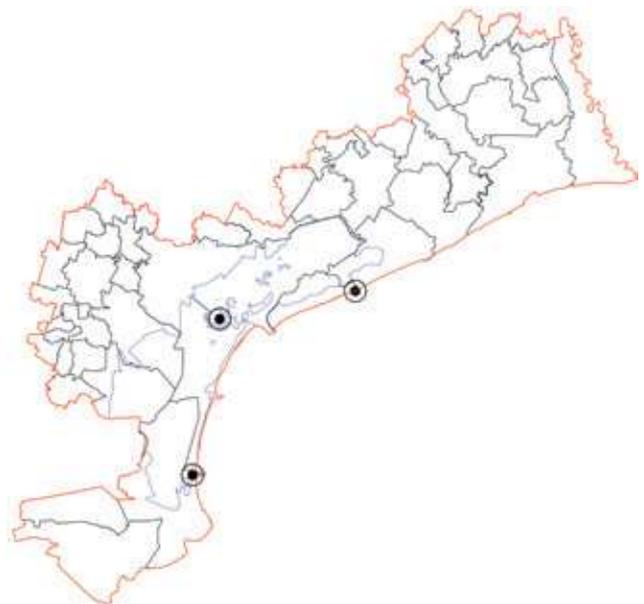


Fig. 16.8 - Ubicazione delle stazioni CGPS permanenti presenti in provincia di Venezia nei primi anni 2000.

Questa metodologia risulta particolarmente efficace sulle aree urbanizzate e in applicazioni a grande scala, mentre presenta maggiori problematiche in zone rurali scarsamente antropizzate. Le zone coperte da tale tipologia di misura nella provincia di Venezia sono riportate in Fig. 16.9.

16.4.4.2. IPTA

IPTA (*Interferometric Point Target Analysis*) è una metodologia sviluppata dal 2001; permette di condurre con maggiore accuratezza di InSAR delle misure di spostamento da satellite su singole strutture antropiche o naturali di tipo puntuale presenti nel territorio chiamate "riflettori" (*Point Targets* o PTs). I riflettori adatti a questo tipo di indagine possono trovarsi anche in aree rurali o poco urbanizzate (TEATINI *et al.*, 2007a; TEATINI *et al.*, 2009). La Fig. 16.10 mostra

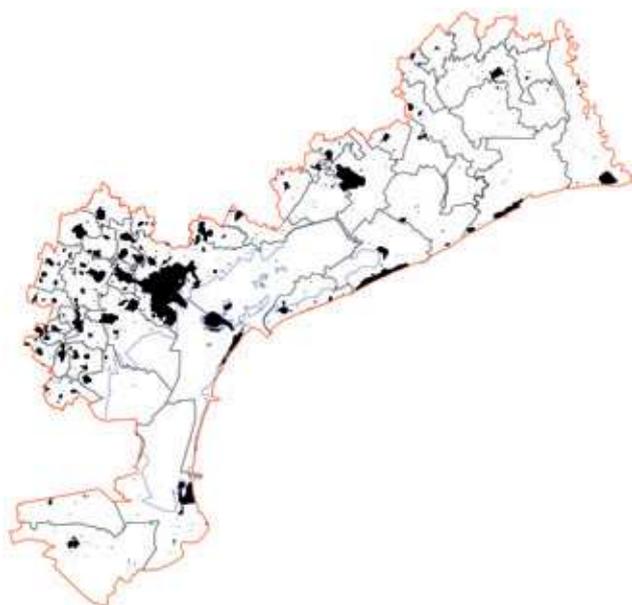


Fig. 16.9 - Ubicazione delle aree coperte da misure InSAR presenti in provincia di Venezia.

la notevole presenza di riflettori nella pianura costiera e lungo i litorali e peraltro evidenzia la loro carenza nel bacino lagunare.

Proprio per ovviare a tali lacune il Magistrato alle Acque di Venezia ha affidato nel 2005 a ISMAR-CNR (Venezia) il Progetto INLET-1 (2005-2007) ed il Progetto INLET-2 (2009-2010) per la misurazione del movimento del suolo dello specchio lagunare di Venezia con l'applicazione del metodo IPTA previa installazione di 60 riflettori artificiali (*Corner Reflectors* o CRs) su barene naturali e artificiali, motte e argini di conterminazione delle valli da pesca (TEATINI *et al.*, 2007b).

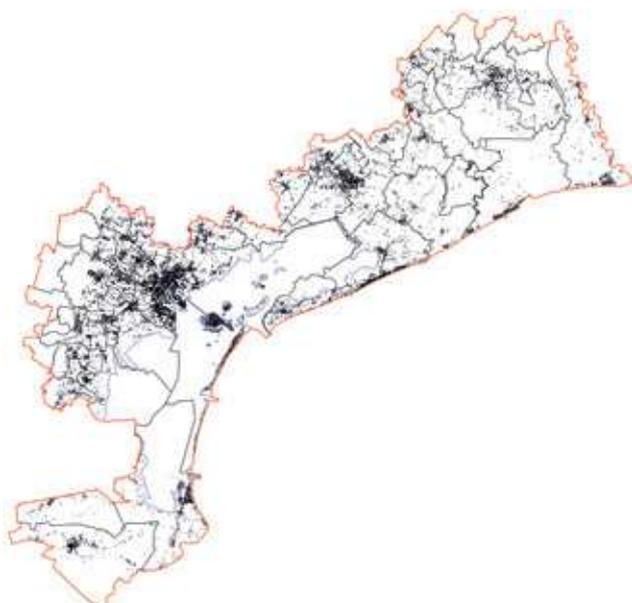


Fig. 16.10 - Ubicazione dei riflettori naturali (PT) presenti in provincia di Venezia.

16.5. ELABORAZIONI

La mappatura della subsidenza è stata ottenuta attraverso l'applicazione del "sistema di monitoraggio integrato" (SIMS), sviluppata, come accennato in precedenza, con l'intendimento di migliorare le possibilità e la qualità del monitoraggio, sia in specifiche aree di interesse che a scala regionale, integrando i risultati forniti dalle diverse metodologie in modo da superare i limiti di ogni singola tecnica di rilevamento (TEATINI *et al.*, 2005).

Il SIMS ha consentito, attraverso una complessa serie di procedure (quali omogeneizzazione e validazioni incrociate, l'eliminazione di dati non rappresentativi, il ricampionamento ed elaborazioni statistiche), di produrre una carta di subsidenza alla scala 1:50.000 utilizzando al meglio tutte le misure a disposizione. Il diagramma di flusso con le principali fasi che compongono il SIMS è riportato in Fig. 16.11.

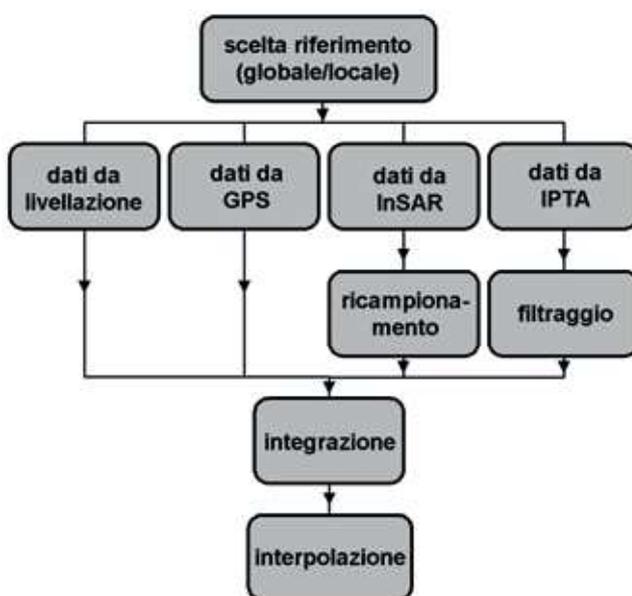


Fig. 16.11 - Diagramma di flusso con le diverse fasi che compongono il SIMS (modificato da TEATINI *et al.*, 2005).

16.5.1. Omogeneizzazione e calibrazione

Tutti i dati altimetrici considerati sono stati omogeneizzati e riportati alla quota di riferimento del caposaldo di Treviso. E' stata eseguita la verifica di confrontabilità delle misure di livellazione e GPS eliminando quelle relative a capisaldi abbandonati e di nuova istituzione.

I dati SAR sono stati inizialmente calibrati rispetto alle misure altimetriche tradizionali. Successivamente, i dati InSAR sono stati preprocessati su una griglia di 250×250 m mentre quelli forniti da IPTA sono stati filtrati per eliminare gli spostamenti non connessi ai processi di subsidenza (ad esempio dovuti a cedimenti della struttura riflettente).

Tutti i dati sono stati quindi integrati in un unico *dataset* per procedere alla loro interpolazione. In Fig. 16.12 è riportata l'ubicazione dell'intero *dataset* utilizzato per l'elaborazione SIMS.

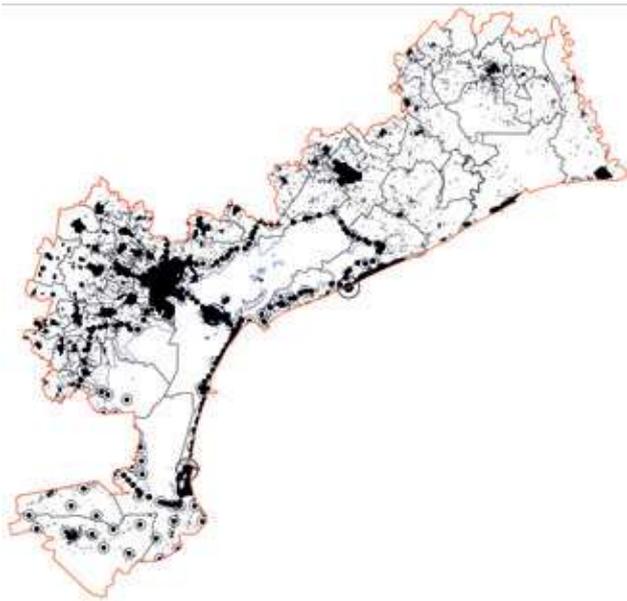


Fig. 16.12 - Ubicazione dei dati utilizzati per l'elaborazione SIMS.

16.5.2. Interpolazione dei dati

La procedura utilizzata per la realizzazione della mappa di subsidenza prevede l'applicazione di un metodo di *gridding* per generare tramite interpolazione un valore della variabile di interesse in ogni cella di una griglia regolare a partire dalle misure disponibili.

In ambito geologico gli errori presenti nei valori da analizzare, la loro limitatezza, irregolarità e non simultaneità di registrazione richiedono generalmente l'utilizzo di tecniche di interpolazione statistica tipo *kriging* (CARBOGNIN & VOLPI, 1980; CRESSIE, 1991) piuttosto che tradizionali metodi di interpolazione deterministica. Inoltre i metodi geostatistici, oltre ad elaborare in modo obiettivo tutte le informazioni

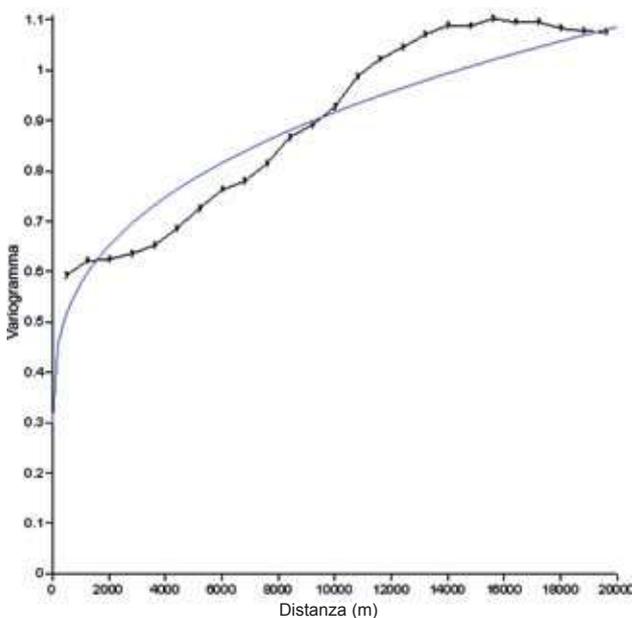


Fig. 16.13 - Variogramma sperimentale costruito a partire dal *dataset* di misure di spostamento disponibile nel territorio provinciale e variogramma teorico utilizzato per la mappatura.

disponibili per mezzo di funzioni tipo variogramma (Fig. 16.13) o covarianza, forniscono anche una valutazione sull'attendibilità del valore ricostruito.

Dopo opportune elaborazioni preliminari, si è stabilito di utilizzare una griglia regolare con maglie di 500 m di lato. In Fig. 16.14 è riportata la griglia di interpolazione utilizzata per produrre la mappa di subsidenza.

Data la disomogeneità spaziale della distribuzione delle misure, i valori ricostruiti presentano una



Fig. 16.14 - Griglia di interpolazione dei dati utilizzata per produrre la mappa della velocità di subsidenza.

“attendibilità” variabile arealmente che deve essere considerata nell'interpretare la carta della subsidenza. L'attendibilità della ricostruzione è rappresentata attraverso la deviazione *standard* associata ai valori interpolati (Fig. 16.15).

Come prevedibile, le deviazioni *standard* presentano

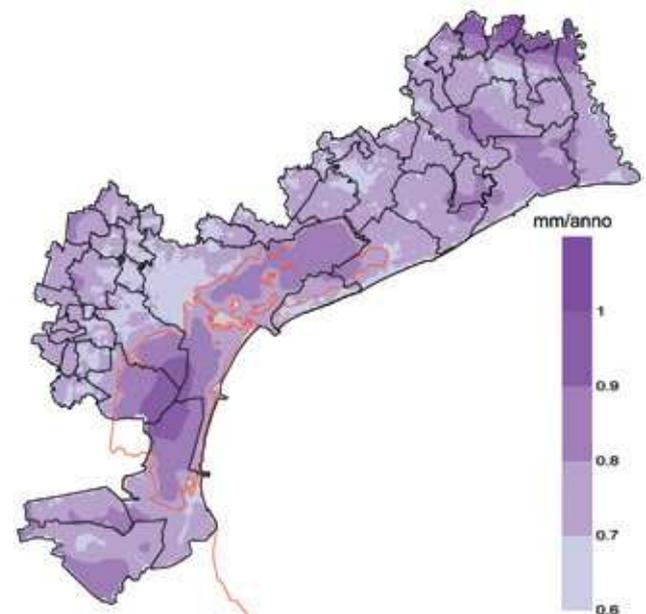


Fig. 16.15 - Mappa della deviazione *standard* associata alla subsidenza.

i massimi valori nei settori lagunari interni non antropizzati e quindi il dato là interpolato ha una minore affidabilità. Analogamente dicasi per le zone umide e/o agricole alle estremità settentrionale e meridionale del territorio provinciale ove non sono a disposizione delle misure in quanto esterne alle immagini ERS-1 e ERS-2 analizzate.

16.6. DETERMINAZIONE DELLE AREE SUBSIDENTI

16.6.1. Criteri di classificazione

Com'è noto la subsidenza, che ha componenti sia naturali che antropiche, interessa l'intera area provinciale in maniera non uniforme, più o meno sostenibile, ovvero con rilevanza territoriale più o meno considerevole.

In generale la gravità del processo subsidenziale non dipende esclusivamente dalla sua magnitudo assoluta, ma anche dalla posizione geografica dell'area coinvolta nel processo, dall'altimetria della zona, dal tipo di insediamento, dall'idrografia locale, eccetera, e quindi va valutata in funzione degli impatti che possono derivare all'ambiente in cui si esplica. Esempio limite, ma emblematico, quello del confronto tra la subsidenza e le relative conseguenze/preoccupazioni create dal fenomeno a Venezia e a Città del Messico; nella città lagunare una subsidenza dell'ordine dei decimetri ne sta minacciando l'integrità fisica e la stessa sopravvivenza, molto più di quanto abbiano allarmato i circa 9 metri di abbassamento registrati nella capitale messicana (CARBOGNIN, 1985). La provincia di Venezia è una realtà eterogenea che, interessando un'area di 2.469 km² (di cui circa 600 km² occupata da lagune), si presenta molto articolata dal punto di vista fisiografico, con aree urbane, di bonifica, costiere, spesso soggiacenti il livello marino, barenicole, oltre che lagunari e fluviali.

Ovvio che l'attenzione da porre alla subsidenza in atto va vista in funzione anziché del tipo di insediamento socio-economico e della sua vulnerabilità e pertanto rappresenta un parametro importante, ad esempio, per la pianificazione territoriale e per la protezione civile. Per tutto ciò, la classificazione della subsidenza riportata in Tab. 16.2 tiene conto della molteplicità di tali fattori.

Velocità di abbassamento (mm/anno)	Rilevanza del processo di subsidenza		
	Zone di terraferma	Zone litorali, lagunari, margine lagunare	Zone soggiacenti il livello marino
inferiore a 1	non rilevante	non rilevante	minima
tra 1 e 2	minima	minima	media
tra 2 e 3	media	medio-alta	alta
tra 3 e 5	medio-alta	alta	molto alta
maggiore di 5	alta	altissima	altissima

Tab. 16.2 - Classificazione della rilevanza della subsidenza relativa a zone con diverso assetto fisiografico del territorio provinciale.

16.7. MAPPATURA

La Fig. 16.16 riporta la mappa della velocità di subsidenza del territorio provinciale veneziano per il decennio 1992-2002 ottenuta come sopra descritto. Dalla sua analisi, è immediato rilevare come le aree dove la subsidenza si esplica in misura più elevata sono quelle della porzione nord-orientale della provincia, equidistribuite tra le zone del Portogruarese e del Sandonatese con la sostanziale esclusione di gran parte del territorio di Cavallino Treporti. Solo infatti nell'area nord-orientale della provincia si sono misurate velocità di subsidenza sempre superiori a 2 mm/anno, con vaste aree che raggiungono i 5 mm/anno e circoscritte località che si abbassano con tassi fino a 7 mm/anno. Per quanto riguarda il settore di Cavallino-Treporti, è bene ricordare l'influenza sul fenomeno dei notevoli emungimenti di acque artesiane e, benché la mappatura originale alla scala 1:50.000 indichi velocità medie di abbassamento del suolo fino a 2 mm/anno, in alcune zone di questo settore il processo subsidenziale raggiunge e supera velocità di 3 mm/anno.

Sulla base della classificazione della subsidenza riportata in Tab. 16.2, gli abbassamenti in atto nelle aree litoranee di questa ripartizione, al più pari a quelli delle zone di terraferma altimetricamente più sicure, richiedono una maggiore attenzione in quanto le loro caratteristiche ambientali devono essere mantenute e tutelate.

Diversa si presenta la situazione nell'area centrale dove i tassi di subsidenza sono generalmente più rassicuranti. Va evidenziato tuttavia che, a fronte della stabilità del centro storico di Venezia, delle aree di terraferma a ovest di Mestre e della parte centrale di laguna a sud di Venezia, la subsidenza in atto, dell'ordine di 2-3 mm/anno nei comuni che si affacciano

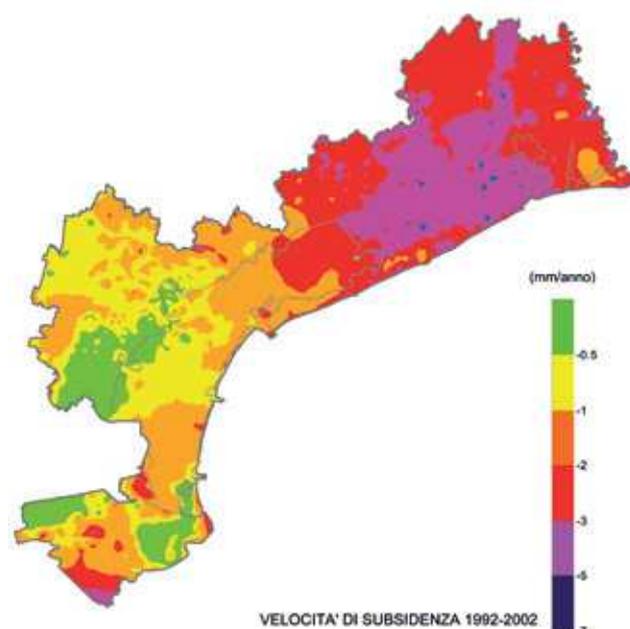


Fig. 16.16 - Mappa della velocità di subsidenza (mm/anno) per il periodo 1992-2002.

alla laguna settentrionale e quelli lungo i litorali di Lido e Pellestrina, può risultare insidiosa in funzione della ridotta altimetria e alla luce dei prospettati aumenti del livello del mare (eustatismo positivo); ciò vale anche per l'intera laguna settentrionale.

Nel settore meridionale, infine, la velocità di abbassamento del suolo è caratterizzata da una variabilità decisamente superiore a quella delle altre aree, benché il valore medio sia comparabile a quella del settore centrale. La situazione ambientale delle aree del bacino scolante meridionale risulta in generale differente da quella degli altri settori provinciali. Vaste aree si trovano a quote inferiori al l.m.m. fino anche a -4 m. Si tratta di aree bonificate ad uso agricolo in presenza di terreni torbosi affioranti dove la subsidenza geochimica (perdita di massa per ossidazione e salinizzazione dei suoli) ha indotto abbassamenti di un metro negli ultimi 70 anni. Le subsidenze più rilevanti sono osservate nelle aree di Valli e Sottomarina e nel comune di Cavarzere, al limite meridionale della provincia⁴.

Escludendo Venezia e Chioggia per l'entità della loro estensione comunale e la variabilità dei tassi misurati, i comuni del territorio provinciale di Venezia si possono raggruppare in funzione della loro subsidenza media decrescente come segue:

- tassi di abbassamento tra 3 e 5 mm/anno: Gruaro, Concordia Sagittaria, S. Stino di Livenza, Ceggia, Torre di Mosto, Eraclea, Caorle, Jesolo e San Donà di Piave;
- tassi di abbassamento tra 2 e 3 mm/anno: S. Michele al Tagliamento, Fossalta di Portogruaro, Portogruaro, Cinto Caomaggiore, Pramaggiore, Annone Veneto, Teglio Veneto, Noventa di Piave, Fossalta di Piave, Musile di Piave, Meolo e localmente Cavallino - Treporti;
- tassi di abbassamento tra 1 e 2 mm/anno: Cavallino-Treporti, Quarto d'Altino, Marcon, Scorzè, Pianiga, Fiesso d'Artico, Stra e Cavarzere;
- tassi di abbassamento inferiori a 1 mm/anno: Martellago, Salzano, Noale, Spinea, Mirano, Santa Maria di Sala, Dolo, Mira, Camponogara, Fossò, Vigonovo, Campagna Lupia, Campolongo Maggiore e Cona.

Nelle zone con presenza di torbe nei comuni di Cavarzere, Chioggia e Cona la subsidenza è però di alcuni cm/anno, come poi specificato.

L'interpolazione delle misure di subsidenza è stata effettuata su una griglia regolare di 500 m per poter individuare in maniera soddisfacente l'andamento "regionale" principale della subsidenza che caratterizza il territorio provinciale. D'altra parte questo non ha permesso di rappresentare in dettaglio il processo in zone di limitata estensione caratterizzate da velocità di subsidenza molto variabili.

Si fa presente che dal 2007 sono disponibili anche i dati del Progetto IRMA (Tosi *et al.* 2007a) e dal 2010 quelli del Progetto ERA, programmati per l'ampliamento delle reti di monitoraggio altimetrico;

di conseguenza i tassi di subsidenza si potranno calcolare lungo linee di livellazione di nuova istituzione solo in futuro, con la seconda campagna di livellazione (primo monitoraggio). Tuttavia dai dati confrontabili lungo linee di livellazione già esistenti e utilizzate per collegare la rete IRMA alla rete ISES sono stati elaborati 2 profili di subsidenza; quello riportato in Fig. 16.17 mette in luce un *trend* altimetrico decisamente negativo procedendo da Quarto d'Altino-Portegrandi a Fossalta di Portogruaro. Anche a prescindere dai due picchi di massima subsidenza di Ceggia e Portogruaro (8 cm negli ultimi quindici anni), non vi è dubbio che il processo di abbassamento del suolo in atto coinvolge questa parte del territorio in misura preoccupante con tassi da 2 a oltre 5 mm/anno.

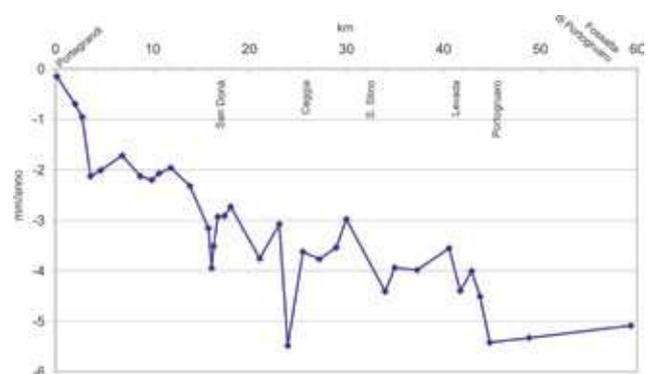


Fig. 16.17 - Movimenti verticali lungo la tratta Portegrandi - Fossalta di Portogruaro risultanti dal confronto tra le livellazioni IGMI del 1989 e la livellazione IRMA del 2004 (modificata da Tosi *et al.*, 2007a).

Il profilo di subsidenza 2000-2004 lungo le linee circumlagunari e litoranee comprese tra Portegrandi e la bocca di Lido (Fig. 16.18) indica un lieve generale ridimensionamento del fenomeno rispetto al periodo 1993-2000, più accentuato nella zona di Jesolo. Ciò malgrado, gli abbassamenti misurati nelle aree di Jesolo e Caposile restano critici come pure il nuovo picco in prossimità del molo nord della bocca di Lido (cfr. § 16.8). Il maggior numero di capisaldi confrontabili nel periodo 2000-2004 rispetto al precedente 1993-2000 ha permesso altresì di evidenziare l'elevata variabilità degli abbassamenti in atto.

Lo studio del processo di subsidenza è stato condotto sia nell'ottica della ricerca scientifica sia in quella del trasferimento dei risultati alle amministrazioni locali per la gestione e pianificazione del territorio. Il principale prodotto realizzato per supportare sia il Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (PTCP) che il Piano Provinciale d'Emergenza (PPE) è stata la cartografia della classificazione del territorio sulla base al grado di "Rilevanza del processo di subsidenza" (Fig. 16.19 e Tav. 15 in scala 1:100.000).

⁴ Vedi anche i capitoli 6 "Suoli", 7 "Geomorfologia", 8 "Geologia" e le cartografie delle Tavv. 8-9-10.

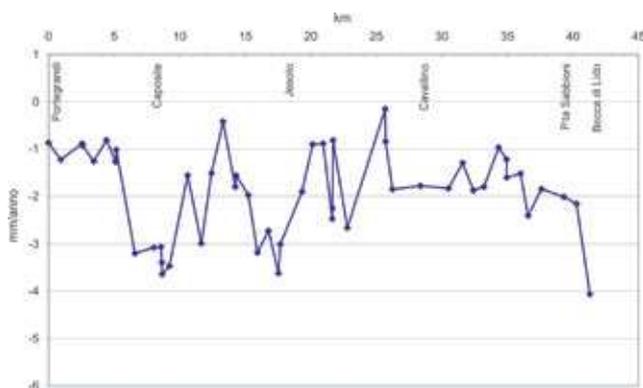


Fig.16.18 - Movimenti verticali lungo la cirumlagunare Nord risultanti dal confronto tra le livellazioni ISES del 2000 e la livellazione IRMA del 2004 (modificata da Tosi *et al.*, 2007a).

La carta è stata ottenuta correlando il valore della velocità di subsidenza con l'assetto morfologico del territorio. Il territorio provinciale è stato suddiviso in fasce ad uguale velocità di subsidenza che sono state poi incrociate e confrontate con tre grandi aree: area soggiacente il livello marino, area lagunare-litorale e area di terraferma.

A parità di velocità, il fenomeno avrà più o meno rilevanza a seconda dell'area dove avviene.

Inoltre, le aree torbose presenti nel territorio provinciale meridionale (come cartografate nella "Unità dei Cuori" in BONDIESAN *et al.*, 2008⁵), essendo caratterizzate da una velocità di subsidenza estremamente elevata (alcuni cm/anno), sono state inserite nella mappa come aree ad altissima rilevanza.

16.8. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Avvalendosi delle tecniche tradizionali e innovative di monitoraggio e dell'analisi integrata dei dati disponibili al 2002, è stata realizzata una mappa delle isocinetiche di subsidenza nella provincia di Venezia per un periodo di 11 anni, dal 1992 al 2002. Dovendo fornire una visione sinottica dell'andamento del fenomeno sull'intera estensione provinciale, in grado di evidenziare arealmente le "classi di criticità" del processo subsidenziale, la carta è stata prodotta su una griglia regolare di 500 m di lato in scala 1:50.000 in origine.

Si fa presente che il solo valore assoluto dei tassi di subsidenza non è rappresentativo di una maggiore o minore gravità del fenomeno, che è anche legata all'assetto fisiografico e socio-economico del territorio. La provincia di Venezia infatti non si presenta uniforme dal punto di vista morfologico, includendo nella sua estensione aree lagunari, litoranee, di terraferma con altimetria variabile tra circa -4 m e +21 m sul livello del mare.

La subsidenza della struttura litoranea, per esempio, potrebbe comportare anche l'aumento dei processi erosivi costieri e quindi anche del rischio da mareggiata.

La mappa della velocità di subsidenza va assolutamente letta congiuntamente a quella dei valori della deviazione *standard* dei dati interpolati, riportati in Fig. 16.15. Questa lettura combinata è indispensabile per una corretta valutazione della rappresentatività dei dati interpolati a scala regionale.

La cartografia della subsidenza evidenzia che in generale la parte nord-orientale della provincia di Venezia è quella più seriamente coinvolta dal processo subsidenziale non solo per l'entità massima dell'abbassamento misurato (fino a 5-7 mm/anno), ma anche per l'estensione del processo, senza soluzione di continuità, con un tasso medio di 3-4 mm/anno. In generale le aree a maggior subsidenza sono quelle interessate da emungimenti di acque sotterranee, quelle caratterizzate da sedimentazione recente e quelle bonificate. In relazione alla prima causa, si ricorda che in questo settore della provincia sono presenti rilevanti risorse idriche sotterranee sfruttate da pozzi la cui profondità varia da 10 m a 600 m; particolarmente importante l'area nord-orientale (portogruarese) dove si sfruttano acque termali a profondità superiori ai 400 metri. Una nota a parte riguarda il settore di Cavallino Treporti

⁵ Vedi anche il capitolo 8 "Geologia" e la cartografia di Tav. 10.

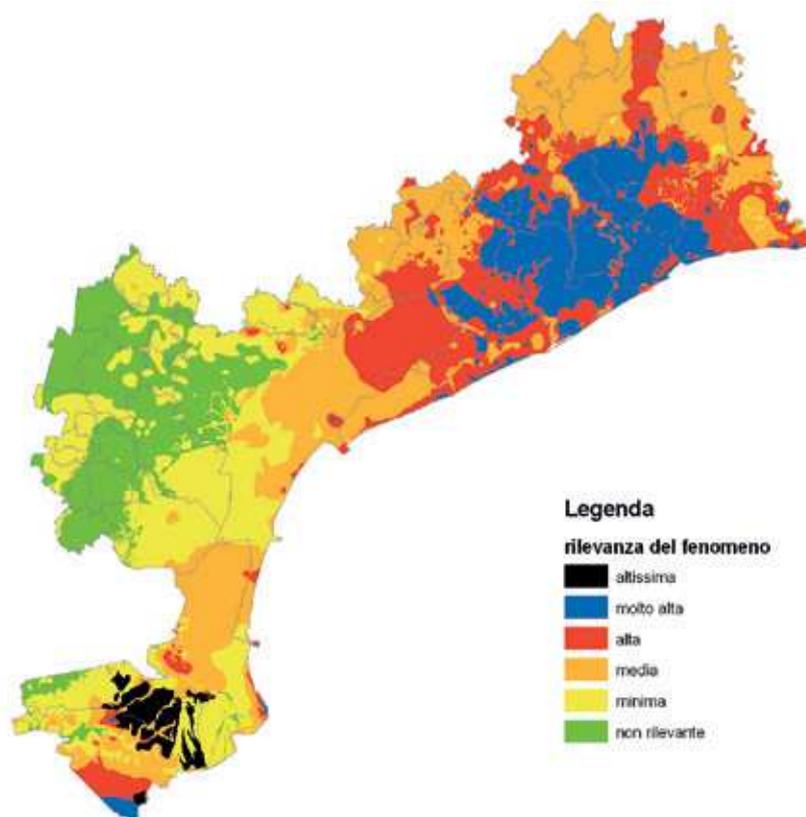


Fig. 16.19 - Mappa della rilevanza del fenomeno di subsidenza (vedi Tav. 15 alla scala 1:100.000).

ove, sempre in presenza di importanti emungimenti di acque artesiane, la mappa della subsidenza indica valori fino a 2 mm/anno, ma va puntualizzato che localmente il tasso di abbassamento raggiunge i 3-4 mm/anno, come dimostrano alcuni singoli riflettori SAR.

Nel settore centrale della provincia invece, la maggior parte del territorio si presenta sostanzialmente stabile o con velocità medie di abbassamento pari a circa 1 mm/anno. Tuttavia nelle aree a nord di Venezia il *trend* di abbassamento è più in linea con quello del settore nord-orientale mostrando tassi fino a 2-3 mm/anno.

Il settore meridionale, viceversa, pur essendo arealmente più limitato, è caratterizzato dalla maggiore variabilità della velocità di subsidenza. A fronte di zone stabili quali, ad esempio, l'area occidentale del comune di Cona e quelle in corrispondenza dei paleo-cordoni dunali tra Chioggia, Brondolo e Cavanella, si osservano punte di abbassamento superiori a 2-3 mm/anno nell'area più meridionale del comune di Cavarzere e a Sottomarina/Isola Verde. Purtroppo i dati disponibili in questa parte della provincia generalmente si riferiscono a punti (strade, case, tralicci elettrici ecc.) localizzati su strutture geologiche prevalentemente sabbiose (paleoalvei, antichi cordoni litorali ecc.) che quindi non rispecchiano il processo subsidenziale indotto dall'ossidazione dei suoli organici che può indurre perdite altimetriche anche di alcuni cm/anno nelle zone dove le torbe sono in affioramento. La mappa, nel settore meridionale compreso tra il margine lagunare e l'Adige, sottostima sicuramente la subsidenza in atto. Anche nel futuro, quando la rete ISES verrà riquotata, il processo sarà sottostimato, sia pure in misura minore. Infatti, i capisaldi ISES sono stati necessariamente istituiti su strutture consolidate e quindi non completamente rappresentative del territorio che in questo settore è costituito prevalentemente da terreni agricoli. Per una quantificazione più corretta della subsidenza nelle aree torbose si può fare riferimento a *CAMPORESE et al., 2006*; *GAMBOLATI et al., 2005*; *GAMBOLATI et al., 2006*; *TEATINI et al., 2007a*.

La Provincia di Venezia dispone oggi della rete di monitoraggio altimetrico ISES-IRMA-ERA, unica per

estensione e caratteristiche nel territorio italiano. Per completare al meglio il controllo del territorio provinciale, la rete di monitoraggio altimetrico necessiterebbe di una estensione nella parte a nord ovest dell'area centrale e, in quella meridionale, a sud del fiume Adige. Anche i bacini lagunari dovrebbero essere opportunamente investigati in quanto sede di strutture geomorfologiche importanti che giocano ruoli diversi nel processo subsidenziale (*TOSI et al., 2002*; *RIZZETTO et al., 2003*; *CARBOGNIN et al., 2006*; *TOSI et al., 2007b*; *TOSI et al., 2007c*; *ZECCHIN et al., 2008*; *RIZZETTO et al., 2009*; *TOSI et al., 2009a*; *TOSI et al., 2009b*; *ZECCHIN et al., 2009*).

Si ricorda che la subsidenza non è l'unico processo che mette a severo rischio la pianura costiera della provincia di Venezia; esiste anche quello dell'eustatismo che, congiuntamente al primo, può aggravare la già critica situazione altimetrica (*CARBOGNIN & TOSI, 2002*; *CARBOGNIN et al., 2004*).

Alla luce di quanto emerso da questo studio e considerando le previsioni di innalzamento eustatico del livello del mare (*CARBOGNIN et al., 2009*; *CARBOGNIN et al., 2010*), è auspicabile che, per investigare un territorio così importante e delicato come quello della provincia di Venezia, si predispongano continui finanziamenti idonei, oltre a non vanificare il notevole sforzo sino ad ora compiuto, ad assicurare la manutenzione della rete altimetrica e a garantire che il monitoraggio proceda secondo scadenze stabilite, necessarie per il tempestivo controllo e interpretazione dei movimenti del suolo, sia nei contesti naturali, dominati da processi idro-morfologici, sia nelle aree urbanizzate, potenzialmente influenzate dai diversi interventi che possono indurre subsidenza, o dalle infrastrutture.

A questo proposito, una particolare attenzione dovrà essere volta al controllo dei possibili movimenti verticali riconducibili alla realizzazione e al funzionamento delle barriere mobili alle tre bocche di porto; nel solo 2008 gli abbassamenti, seppur circoscritti alle aree di intervento, hanno qui raggiunto i 7 cm (*STROZZI et al., 2009*). Analogamente dicasi per altre opere ingegneristiche di rilevanza attualmente in fase di valutazione e progettazione quale, ad esempio, la metropolitana sublagunare.

EFFETTI DELLA SUBSIDENZA DELLE TORBE NEL TERRITORIO DEL CONSORZIO DI BONIFICA ADIGE EUGANEO

Giuseppe Gasparetto Stori - Consorzio di bonifica Adige Euganeo

Il nuovo Piano Generale di Bonifica e Tutela del Territorio del Consorzio di Bonifica Adige Euganeo, redatto nel 2011, ha incluso le indicazioni emerse dalle ricerche della Provincia di Venezia, dell'Università di Padova e del CNR-ISMAR di Venezia riguardanti il *trend* di subsidenza delle superfici torbose.

La pianificazione delle nuove opere idrauliche, necessarie all'espulsione delle acque superficiali in eccesso, tiene conto che una dozzina delle 56 idrovore dovrà essere potenziata con l'installazione di nuove pompe più profonde e che un centinaio di chilometri di canali dovrà essere ricalibrato per assicurare l'uso del suolo per altri decenni.

A titolo d'esempio, si riporta (Fig. 16.20) l'idrovora Ca' Bianca di Galzignano (PD) in cui l'aspirazione delle pompe è stata abbassata di 2 m nel 1988 per adeguarla all'abbassamento del suolo causato dalle torbe.

Manufatti idraulici presenti nei canali di bonifica, come ponti, sbarramenti idraulici e chiaviche di scarico o derivazione dovranno essere modificati o rifatti. Le aziende agricole insistenti nelle aree torbose saranno costrette a valutare sistemazioni agrarie e attività colturali compatibili con l'evoluzione altimetrica dei suoli. Nella Figg. 16.21 e 16.22 sono visibili gli effetti della subsidenza indotta dall'ossidazione dei terreni organici: il ponte con fondazioni su pali è rimasto altimetricamente stabile a differenza del territorio circostante che ha subito gli effetti della subsidenza.

Particolare preoccupazione riveste la progressiva correlata salinizzazione⁶ delle falde superficiali, già ora assai rilevante e diffusa nei bacini più orientali del consorzio, che può vanificare ogni utilizzo agricolo dei suoli. Opere di monitoraggio e mitigazione del fenomeno dovranno essere messe in atto con immissione artificiale di acque dolci nei canali di bonifica, la loro massima diffusione dovrà essere 'vascolarizzata' nella rete scolante-irrigua aziendale ed effettuati 'lavaggi' controllati dei terreni più compromessi.



Fig. 16.20 - Lavori di modifiche dell'idrovora Ca' Bianca di Galzignano (PD) per adeguarla all'abbassamento del suolo causato dalle torbe.

La realizzazione di invasi a scopo multiplo di fitodepurazione, conservazione della biodiversità, laminazione di piena, invaso irriguo e paesaggistico - ricreativo, quale quello già realizzato a Ca' di Mezzo in comune di Codevigo - PD (adiacente al territorio provinciale di Venezia; Fig. 16.23) si sono dimostrati efficaci anche nella mitigazione della salinizzazione delle falde.

⁶ Vedi anche il capitolo 17 "Intrusione salina".



Fig. 16.21 - Effetti della subsidenza indotta dall'ossidazione dei terreni organici.



Fig. 16.22 - Effetti della subsidenza indotta dall'ossidazione dei terreni organici.



Fig. 16.23 - Area di fitodepurazione consorziale di Ca' di Mezzo di Codevigo (PD).

17 INTRUSIONE SALINA

LUIGI TOSI¹, ELOISA DI SPIO², LAURA CARBOGNIN¹, †GIOVANNI MARIA ZUPPI³, ANTONIO GALGARO⁴, PIETRO TEATINI¹, VALENTINA BASSAN⁵, ANDREA VITTURI⁵

17.1. PREMESSA

Fin dagli anni '970, le indagini realizzate dal III° Gruppo di lavoro "Geologia-Geofisica-Geotecnica" del "Comitato per lo studio dei Provvedimenti a Difesa della Città di Venezia ed a salvaguardia dei suoi caratteri ambientali e monumentali" (Ministero dei Lavori Pubblici) avevano evidenziato che l'intrusione salina interessava gran parte dell'area costiera perilagunare veneziana (BENVENUTI E NORINELLI, 1974). Lo studio di questo fenomeno, tuttavia, passò in secondo piano rispetto a quello di altri processi ritenuti all'epoca prioritari per la salvaguardia di Venezia e della sua laguna, quali la subsidenza e l' "acqua alta". Negli anni '990, grazie a una Unità Operativa del progetto Strategico CNR "Ambiente e Territorio" (1994-1997) coordinata dall'Istituto per lo Studio della Dinamica delle Grandi Masse, ISDGM, del CNR di Venezia (oggi Istituto di Scienze Marine) il problema dell'intrusione salina fu riconsiderato ed emerse una grave situazione idrologica, con particolare criticità nel settore veneziano meridionale (BIXIO *et al.*, 1998).

Dal canto suo la Provincia di Venezia, conscia dei gravi effetti che l'intrusione salina poteva avere nei confronti dell'ambiente e della fiorente attività agricola di tipo orticolo, con particolare riferimento al comune di Chioggia, diede avvio nel 1998 al progetto "Cuneo Salino" per esaminare la situazione dell'intrusione di acque saline nel sottosuolo (assieme alla subsidenza) nella parte meridionale del proprio territorio.

In considerazione degli studi che l'ISDGM aveva già condotto su tali problematiche, i due Enti decisero concordemente di convogliare le conoscenze e le risorse in un progetto comune⁶.

La Provincia di Venezia e l'Istituto CNR promossero quindi diversi incontri con gli altri Enti preposti alla gestione del territorio, per sensibilizzarli sulla gravità dei processi di intrusione salina e subsidenziale in atto, del conseguente impatto ambientale e socio-economico che potevano indurre, e per evidenziare la necessità di produrre una cartografia di base delle aree critiche e di istituire adeguate reti di monitoraggio. In breve tempo vi fu l'adesione di tutti i soggetti competenti (Province, Comuni, Consorzi di Bonifica, Magistrato alle Acque) per il settore meridionale delle Province di Venezia e Padova, mentre per quello settentrionale non vi furono espressioni di interesse, probabilmente per il minor impatto del processo, a quel tempo, sull'attività agricola-orticola. Alla fine degli anni '990 si avviarono quindi i due Progetti "Cuneo Salino" (1998-2000)⁷ e "ISES" (1999-2002)⁸ che rappresentarono un primo importante programma di indagini con lo scopo di approfondire le con-

scienze sui processi di intrusione di acque saline nel sottosuolo, e di subsidenza, che coinvolgono in modo preoccupante molte aree del comprensorio meridionale della Provincia di Venezia e della Provincia di Padova, di determinare l'estensione del fenomeno e valutarne la criticità in relazione alle attività economiche di tipo agricolo-orticolo. Dopo aver ottenuto la "fotografia" della situazione idrogeologica, si passò all'individuazione di interventi specifici per contrastare il processo; ad esempio nell'ambito del Progetto BRENTA (2003-2004)⁹, furono condotte le indagini preliminari per la realizzazione della paratoia mobile alla foce del Brenta-Bacchiglione al fine di ostacolare la dispersione di acqua marina che risale con la marea le aste terminali dei fiumi e canali. Parallelamente si avviarono altri progetti di ricerca per ulteriori approfondimenti sulla dinamica del processo e per la realizzazione di modelli matematici specifici per la simulazione di interventi idonei a mitigare il processo della contaminazione salina negli acquiferi e nei suoli coltivati: il Progetto CORILA 3.10¹⁰ (2004-2007) e il Progetto VECTOR- Cliven, Attività 3 -Morfodinamica¹¹ (2007-2010).

Il settore settentrionale, successivamente al Progetto Strategico CNR "Ambiente e Territorio", non fu inte-

¹ Istituto di Scienze Marine (ISMAR), Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), Venezia.

² Facoltà di Architettura, Università IUAV di Venezia.

³ Dipartimento di Scienze Ambientali, Università Ca' Foscari di Venezia - Istituto di Geologia Ambientale e Geoingegneria, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Roma.

⁴ Dipartimento di Geoscienze, Università degli Studi di Padova.

⁵ Provincia di Venezia - Servizio Geologico e Difesa del Suolo.

⁶ A partire da questa collaborazione il Servizio Geologico della Provincia ha avviato una serie di iniziative con altri enti, mettendo così in atto sinergie tecniche ed economiche assai vantaggiose in un periodo di contrazione di risorse.

⁷ Finanziato dalla Provincia di Venezia; col coordinamento scientifico ISMAR-CNR (già ISDGM).

⁸ ISES, acronimo per Intrusione Salina E Subsidenza, variamente finanziato da Comune di Chioggia, Consorzio di Bonifica Adige Bacchiglione, Consorzio di Bonifica Bacchiglione Brenta, Consorzio di Bonifica Delta Po Adige, Istituto per lo Studio della Dinamica delle Grandi Masse CNR di Venezia, Magistrato alle Acque di Venezia, Provincia di Padova e Provincia di Venezia e con il patrocinio di Autorità di Bacino del Fiume Adige e Consorzio di Bonifica Polesine Adige Canal Bianco; coordinamento scientifico ISMAR-CNR (già ISDGM).

⁹ Finanziato dal Consorzio di Bonifica Adige Bacchiglione; coordinamento scientifico ISMAR-CNR.

¹⁰ Finanziato dal CORILA (fondi MIUR); coordinatore operativo IDPA-CNR.

¹¹ Finanziato da CORILA (fondi MIUR); coordinamento scientifico dell'Attività 3 (Morfodinamica) Dip. IMAGE (Univ. Padova) e ISMAR-CNR.

ressato da ulteriori progetti di ricerca. Studi specifici rivolti a una maggiore conoscenza del fenomeno nel settore compreso tra il margine lagunare e il fiume Piave hanno avuto nuovo slancio a partire dal 2004 attraverso una serie di tesi di laurea e di dottorato dell'Università Ca' Foscari di Venezia e dell'Università degli Studi di Padova, e attraverso il progetto di ricerca dell'Università Ca' Foscari di Venezia finanziato con fondi PRIN 2005 "Gli acquiferi profondi della Pianura Padana come risorse regionali: acquitardi nella idrodinamica, generatrici di acque chimicamente e termicamente anomale, luogo idoneo per l'intrappolamento della CO₂ atmosferica".

Si segnalano, inoltre, per il settore centrale della laguna, alcune recenti ricerche riguardanti il sottosuolo del centro storico di Venezia, condotte dall'Università IUAV di Venezia, in cui si evidenzia la presenza della contaminazione salina all'interno degli acquiferi superficiali (ZEZZA, 2008; ZEZZA *et al.*, 2008).

17.2. INTRODUZIONE

L'area costiera è una zona di transizione dove i processi idrologici continentali interagiscono con quelli marini giocando un ruolo critico sui fattori che potenzialmente possono aumentare il rischio idrogeologico. Le aree costiere sono importanti risorse economiche e sociali, molto sensibili ai cambiamenti dell'ecosistema indotti sia da cause naturali che dalle attività antropiche. Qui spesso si possono innescare disastri ambientali, quale ad esempio quello della desertificazione che, essendo indotto prevalentemente dai cambiamenti climatici, è aggravato dall'innalzamento relativo del mare e dall'intrusione salina (CARBOGNIN *et al.*, 2004, 2010).

Nell'area costiera veneziana l'attività agricola-orticola, che è una delle più importanti fonti di economia locale, è messa in pericolo dal processo di contaminazione salina.

In questo capitolo vengono riportati i principali risultati ottenuti da una serie di studi sulla contaminazione salina nell'area perilagunare veneziana, realizzati nell'ambito di progetti di ricerca, ai quali ha partecipato in vario modo la Provincia di Venezia, che hanno avuto tra gli obiettivi quello applicativo del trasferimento delle conoscenze verso gli enti proposti alla gestione del territorio.

L'*area di studio settentrionale*, situata in parte del territorio nord-orientale della provincia, interessa l'area compresa tra il corso dei fiumi Piave e Sile tra gli abitati di Portegradi, Jesolo e Cavallino, per un'estensione complessiva di circa 157 km² (Fig. 17.1).

L'assetto attuale dell'entroterra, caratterizzato dalla presenza di paleoalvei, paleocanali lagunari, dossi fluviali, dune costiere e depressioni, è il risultato di processi evolutivi di erosione, sedimentazione, variazioni del livello del mare e subsidenza dovuti all'azione degli agenti morfologici fluviali, marini e antropici attivi durante il Quaternario. Sulla base delle caratteristiche altimetriche e morfologiche¹² è possi-

bile suddividere quest'area di studio in tre settori: i) la sinistra idrografica del Sile, costituito in prevalenza da terreni soggiacenti il livello medio mare (fino a -2 m s.l.m.); ii) tra i fiumi Piave e Sile, in cui tracce di antichi percorsi fluviali e lagunari si alternano a depressioni locali; iii) la fascia costiera, caratterizzata da cordoni di dune disposti parallelamente alla linea di spiaggia, sopraelevati rispetto alla pianura circostante (fino a 3 m) o spianati per scopi turistici o agricoli. I sedimenti superficiali sono costituiti essenzialmente da sabbie in corrispondenza dei principali percorsi fluviali, pensili rispetto alla pianura circostante, e da argille, limi, limi argillosi e torbe in corrispondenza dei terreni sottratti alla laguna nel corso dei secoli. Nelle aree bonificate¹³, soggiacenti al livello medio del mare, la superficie freatica viene mantenuta artificialmente depressa attraverso il sollevamento idraulico mediante idrovore, mentre le zone ad alta permeabilità (paleoalvei e paleocanali) favoriscono il processo di salinizzazione rendendo necessaria un'attenta valutazione delle possibili ricadute economiche sulle attività agricole e turistiche prevalenti nella zona.

L'*area di studio meridionale* è situata a sud-ovest e a sud della Laguna di Venezia, copre circa 400 km² di pianura costiera ed è attraversata da due importanti fiumi, il Brenta e il Bacchiglione, che scorrono in direzione NO-SE (Fig. 17.1). Buona parte del territorio giace sotto il livello del mare; quote ad esso superiori si riscontrano solo nel suo settore orientale, dove i depositi di origine eolica conservano ancora un debole rilievo.

La zona è caratterizzata da un'economia prevalentemente agricola e il mantenimento della superficie della falda al di sotto del piano campagna è garantito con bonifica meccanica. Ciò si realizza tramite una fitta rete di canali di scolo che convoglia le acque di drenaggio a numerosi impianti idrovori i quali sollevano le acque e le restituiscono in laguna.

Dal punto di vista geomorfologico e sedimentologico, nell'area esaminata sono presenti morfologie e depositi di ambiente alluvionale, deltizio e litoraneo¹⁴. In sintesi essa può essere suddivisa in due parti: il settore centro-occidentale, dove sono tuttora riconoscibili antichi dossi fluviali, paleoalvei e rare evidenze di cordoni litoranei spianati, e il settore orientale, caratterizzato dalla presenza di numerose tracce, o relitti, di vecchi cordoni dunosi. La presenza di estesi affioramenti di torbe, il cui spessore supera raramente i 2 m, è particolarmente rilevante nel settore meridionale, in corrispondenza delle zone che in passato furono sede di paludi e canneti (RIZZETTO *et al.*, 2003). In termini di altimetria, queste sono anche le aree più depresse (con quote fino a -4 m s.l.m.), essenzial-

¹² Vedi anche i capitoli 1 "Microrilievo", 7 "Geomorfologia" e 8 "Geologia".

¹³ Vedi anche il capitolo 4 "Idrografia e bonifica idraulica".

¹⁴ Vedi anche i capitoli 1 "Microrilievo", 7 "Geomorfologia" e 8 "Geologia".

mente a causa della subsidenza per perdita di massa conseguente all'ossidazione dei terreni organici (TEATINI *et al.*, 2005; TOSI *et al.*, 2009a)¹⁵.



Fig. 17.1 - Ubicazione dell'area di studio: in rosso il settore settentrionale, in azzurro il settore meridionale della Provincia oggetti di studio.

17.3. INQUADRAMENTO DESCRITTIVO DEL PROCESSO D'INTRUSIONE SALINA

Il problema dell'intrusione salina è tipico delle falde costiere ove l'acqua del mare si infiltra spiazzando l'acqua dolce degli acquiferi freatici e artesiani.

Negli acquiferi l'acqua dolce, per la minor densità rispetto all'acqua salata, "galleggia" senza mescolarsi sopra di essa deprimendo la superficie di separazione che prende il nome di interfaccia.

Considerando il fenomeno essenzialmente dal punto di vista statico e trascurando il mescolamento tra acque dolci e salate, la legge che regola l'equilibrio al contatto tra le due acque è quella di Ghyben-Herzberg:

$$H_i \rho_m = H_p \rho_d + H_i \rho_d$$

dove: H_i = profondità dell'interfaccia dal livello medio del mare; H_p = altezza del livello di falda sul livello del mare; ρ_m = densità dell'acqua di mare (mediamente di 1027 kg/m^3 , con circa 42.000 mg/l di contenuto salino); ρ_d = densità dell'acqua dolce di falda (circa 1000 kg/m^3).

Da essa si deduce che la profondità dell'interfaccia (H_i) dipende dall'altezza della superficie di falda sul livello medio del mare e dalle densità relative dei due liquidi.

Considerando i valori di densità sopraccitati si ottiene che $H_i = 37 H_p$, cioè per un'elevazione della falda freatica di 1 m sul livello medio del mare si ottiene un approfondimento dell'interfaccia di circa 37 m (Fig.

17.2a). Le frequenti eterogeneità e anisotropie degli acquiferi comportano l'esistenza di diverse velocità di deflusso all'interno della stessa falda, che provocano numerose irregolarità sull'andamento dell'interfaccia. Inoltre il limite acqua dolce/acqua salata non è netto, ma il passaggio tra i due tipi di fluidi avviene gradualmente attraverso una zona di diffusione o di transizione, a salinità decrescente dal basso verso l'alto (Fig. 17.2b). Questa superficie presenta una inclinazione che varia a seconda delle condizioni idrogeologiche e fa assumere alla falda salata la geometria di un cuneo, definito appunto "cuneo salino" (Fig. 17.2). Quando la superficie della falda si abbassa, per cause naturali o attività antropiche, l'acqua salata intrude maggiormente nell'acquifero sostituendosi all'acqua dolce (Fig. 17.3). L'acqua dolce più leggera si trova sopra a quella salata, ed è presente una zona di transizione che può variare da 50 cm a oltre 100 m di spessore e la cui forma è regolata dalle relazioni idrodinamiche tra flusso dolce e flusso salato.

Il processo dell'intrusione salina è spesso concomitante all'emungimento di acqua da una falda costiera che, modificando l'equilibrio esistente, "richiama" l'acqua salata in direzione dei pozzi (Fig. 17.3e). Emungimenti importanti d'acqua di falda sono infatti responsabili di un'inversione del naturale gradiente idraulico da monte a valle, con la conseguenza che il deflusso sotterraneo ha luogo dalla costa verso l'entroterra dove sono ubicati i pozzi. L'acqua salata ha quindi la possibilità di intrudere maggiormente nell'entroterra.

L'intrusione salina è un problema grave non solo per l'inquinamento delle acque sotterranee, ma anche perché può innescare, con la salinizzazione dei sedimenti, un collasso delle argille superficiali per la variazione del chimismo delle loro acque interstiziali e quindi una ulteriore subsidenza (CARBOGNIN & TOSI, 2003; TOSI *et al.*, 2009)¹⁶.

Come si vedrà in dettaglio più avanti, per le modalità con cui il processo di salinizzazione degli acquiferi si esplica nel comprensorio veneziano, il suo termine più idoneo sarebbe quello di "contaminazione salina". Quest'ultimo meglio descrive la complessità della



Fig. 17.2 - Schema teorico dei rapporti tra acqua dolce e acqua salata negli acquiferi costieri e variazione del tenore salino (mg/l) nella zona di transizione (da CARBOGNIN & TOSI, 2003).

¹⁵ Vedi anche il capitolo 6 "Suoli".

¹⁶ Vedi anche il capitolo 16 "Subsidenza".

situazione idrogeologica veneziana dove più componenti contribuiscono a questo processo. Infatti, oltre alla componente di intrusione di acqua salata dovuta alla vicinanza del mare e della laguna (Fig. 17.3a-f), ne esistono altre come la dispersione nel sottosuolo dell'acqua marina che risale le foci fluviali (Fig. 17.3g) (DE FRANCO *et al.*, 2009; VIEZZOLI *et al.*, 2010) e la presenza di acque saline fossili.

17.4. METODI DI INDAGINE

Lo studio del processo di contaminazione salina è stato condotto attraverso indagini geofisiche, litostratigrafiche, idrologiche, idrogeologiche, geochimiche, isotopiche e geomorfologiche.

In particolare, la caratterizzazione dell'estensione della contaminazione salina è stata realizzata con:

- SEV: il sondaggio elettrico verticale (SEV) è un metodo di indagine geofisica indiretta, di tipo elettrico attivo che, attraverso l'immissione di corrente continua nel terreno, permette di misurare la proprietà fisica della resistività di un terreno, legata a diversi parametri tra cui il livello di saturazione dei sedimenti e la quantità di ioni in soluzione presenti. Consiste in un dispositivo quadripolare allineato simmetricamente: attraverso due elettrodi esterni (o di corrente) A e B è immessa nel terreno la corrente fornita da un sistema energizzante mentre, con due elettrodi interni (o di potenziale) M e N, si misura la differenza di potenziale nel sottosuolo (d.d.p.). Dopo ogni misura, gli elettrodi di corrente (AB) sono progressivamente allontanati rispetto al centro del dispositivo per incrementare la profondità di penetrazione della corrente e quindi la profondità di investigazione (NORINELLI, 1986; REYNOLDS, 2001). La strumentazione utilizzata per acquisire la misura è nota come Georesistivimetro. L'interpretazione e la modellazione dei dati permettono la ricostruzione di un modello geoelettrico del sottosuolo.
- ERT: la tomografia elettrica (o tomografia della resistività elettrica ERT) è una tecnica geofisica volta alla determinazione della resistività elettrica del sottosuolo mediante l'impiego di una serie d'elettrodi (16, 32, 48 ecc.), disposti lungo un profilo a intervalli fissi, usati alternativamente come elettrodi di corrente e di potenziale. In questo modo è possibile acquisire una considerevole quantità di dati sulla resistività "apparente", rappresentativi sia delle

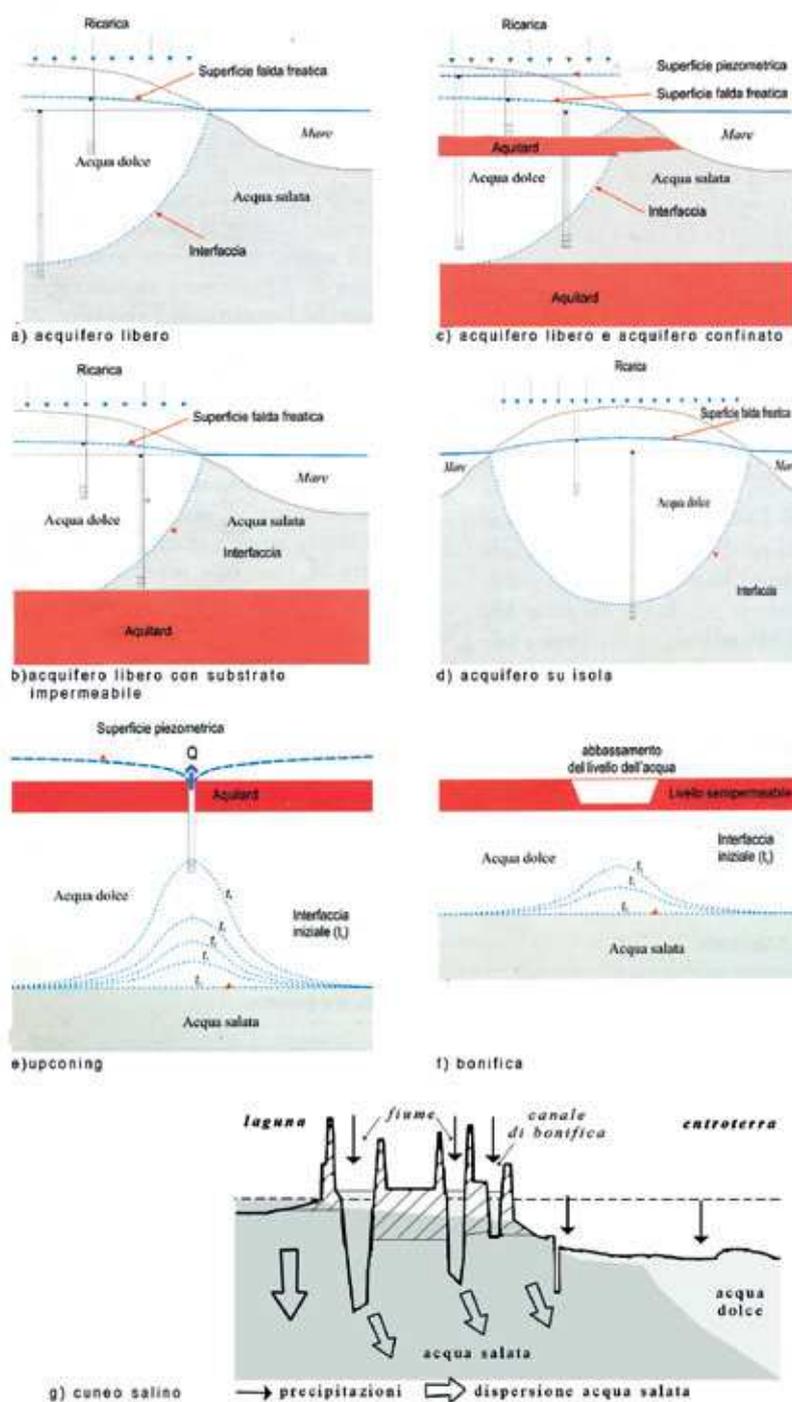


Fig. 17.3 - Rappresentazione schematica di diverse situazioni idrogeologiche naturali in aree costiere (a-d); risalita dell'interfaccia indotta da pompaggi e bonifica (e-f); dispersione di acqua salata per infiltrazione dall'alveo di fiumi pensili (g) (da CARBOGNIN & TOSI, 2003).

variazioni laterali che verticali (Tomografia Elettrica) lungo un allineamento. L'utilizzo appropriato di programmi d'inversione consente l'elaborazione delle sezioni di resistività in grado di riprodurre accuratamente le variazioni del parametro fisico e di ridurre in maniera iterativa la differenza tra i valori di resistività apparente calcolati e quelli effettivamente misurati. La profondità d'esplorazione è mediamente 1/6 della lunghezza dello stendimento.

- Analisi delle acque: analisi chimiche e isotopiche

sono state eseguite su campioni di acqua raccolti nei piezometri presenti nelle due aree di studio individuate, per caratterizzarle dal punto di vista geochimico e per valutare la presenza di processi di diluizione e mescolamento. Profili di conducibilità elettrica, misure di alcalinità e di pH sono stati determinati *in situ*. I campioni di acqua sono stati filtrati a $0,45 \mu$ e conservati in bottiglie di vetro o polietilene. Il contenuto in anioni (Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-}) è stato determinato grazie ai metodi della cromatografia ionica, dell'elettroforesi e, relativamente ai cloruri, della potenziometria (Cozzi *et al.*, 1987). La concentrazione di cationi (Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+}) ed elementi in traccia (Br^-), invece, è stata quantificata attraverso i metodi della spettrometria di emissione atomica al plasma induttivo (ICPS-AES), di assorbimento atomico e di cromatografia ionica (BEATYI *et al.*, 1993). Le analisi isotopiche per gli isotopi stabili dell'idrogeno e dell'ossigeno ($\delta^2\text{H}$ e $\delta^{18}\text{O}$) sono state eseguite utilizzando degli spettrometri di massa Finnigan (MAT 250 e Delta Plus). La composizione isotopica dell'idrogeno ($\delta^2\text{H}$) è stata misurata per riduzione dell'acqua su zinco metallico, mentre quella dell'ossigeno ($\delta^{18}\text{O}$) con la messa in equilibrio dell'anidride carbonica (CO_2) a 25°C , in accordo con le procedure descritte in letteratura (CLARK e FRITZ, 1997; GONFIANTINI *et al.*, 1995). I risultati sono espressi quindi secondo la normalizzazione convenzionale V-SMOW e presentano un errore pari rispettivamente a ± 1 e $\pm 0,1\%$.

17.4.1. Area di studio settentrionale

Nell'area di studio settentrionale si riscontra una scarsa disponibilità di punti di controllo per l'analisi delle acque sotterranee.

Sono stati considerati 15 piezometri della Provincia di Venezia, di profondità inferiore ai 6 m e completamente finestrati, e 5 piezometri di proprietà della società Alisea, installati a profondità comprese tra 6 m e 17,5 m dal piano campagna, insistenti sull'acquifero freatico superficiale¹⁷ (Fig. 17.4).

Al fine di fornire una prima valutazione del grado di salinizzazione delle rete idrografica superficiale e delle sue relazioni con le oscillazioni dei livelli freatici e di marea, misure di conducibilità in superficie e al fondo sono state ripetute nel periodo agosto 2004-maggio 2005 in circa 60 punti di misura lungo i fiumi, canali e scoli, la cui batimetria, a eccezione dei due corsi d'acqua principali (Sile e Piave), raramente supera i 2 m di profondità (Fig. 17.5). Sono stati eseguiti 38 nuovi SEV con stendimento AB pari a 130 m a completamento di 34 SEV, opportunamente revisionati e rielaborati, realizzati negli anni '970-'980 dall'Università degli Studi di Padova, caratterizzati da stendimenti AB di 1000 m, (Fig. 17.6). La profondità di indagine raggiunta si è attestata, nel primo caso, intorno ai 25-30 m, nel secondo sui 300 m circa, con valori massimi di 800 m.

Due pozzi Agip (Eraclea1 e Jesolo1), spinti fino a



Fig. 17.4 - Rete di monitoraggio dei piezometri nell'area di studio settentrionale con indicazione della conducibilità elettrica espressa in mS/cm rilevata *in situ*.



Fig. 17.5 - Rete di monitoraggio delle acque superficiali nell'area di studio settentrionale con un'indicazione della conducibilità elettrica espressa in mS/cm rilevata *in situ*.



Fig. 17.6 - Ubicazione dei SEV (Sondaggi Elettrici Verticali) nell'area di studio settentrionale.

¹⁷Vedi anche il capitolo 12 "Idrogeologia".

oltre 2000 m di profondità, sono stati considerati per la taratura delle indagini geoelettriche (AGIP, 1994). La ricostruzione litostratigrafica del sottosuolo, completata dall'analisi di 45 stratigrafie della Provincia di Venezia¹⁸, con profondità non superiore ai 6 m, è essenziale per una corretta interpretazione dei dati geofisici (profili verticali di conducibilità e SEV) e per la modellazione idrogeologica del terreno. In particolare, le sezioni litostratigrafiche del settore centrale di quest'area di studio, con direzione prevalente E-O, mostrano come l'alveo del Piave insista su terreni permeabili, veicolo di dispersione delle acque dal fiume verso l'entroterra, mentre quelle orientate NNO-SSE rivelano l'estrema variabilità litologica dell'area, dovuta all'alternanza di lenti permeabili e livelli impermeabili. Il litorale, invece, è costituito essenzialmente da uno spesso accumulo di sabbie (v. Fig. 17.11).

17.4.2. Area di studio meridionale

Ci si è avvalsi di circa 700 prove geognostiche esistenti (dati stratigrafici e prove penetrometriche)¹⁹, integrate da 25 nuovi sondaggi a carotaggio continuo terebrati a profondità variabile (due a 100 m, uno a 50 m e gli altri a profondità comprese tra 15 e 25 m) in corrispondenza di alcuni SEV per definire i litotipi principali e per la calibrazione delle indagini geoelettriche. Sono stati censiti circa 400 pozzi/piezometri, tra i quali sono stati selezionati quelli più idonei alle misure del tenore salino. Sono stati elaborati 257 SEV (Fig. 17.7), di cui 170 di nuova esecuzione, con stendimento medio AB=400 m. La profondità di indagine è risultata variabile da 70 a 100 m. Per ottenere una maggior risoluzione, in situazioni anomale sono state effettuate anche alcune tomografie elettriche.

Al termine dello studio preliminare si è istituita una rete di monitoraggio (Rete ISES) della piezometria e del tenore salino nelle acque di falda, composta da 96 punti di misura: 71 pozzi/piezometri sono stati selezionati tra quelli censiti e 25 corrispondono a quelli di nuova realizzazione (Fig. 17.8).

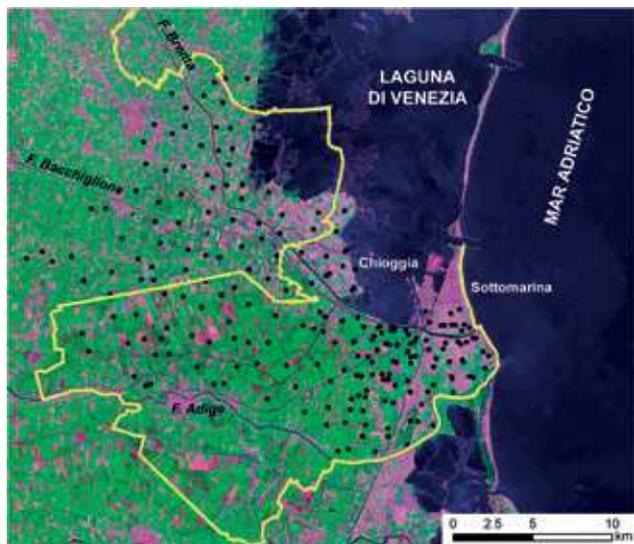


Fig. 17.7 - Ubicazione dei SEV nell'area di studio meridionale.

Parallelamente sono state eseguite misure di salinità delle acque superficiali (fiumi, canali, scoli) in 400 siti, per verificare la connessione tra le acque della rete scolante e della falda freatica e per monitorare la risalita della marea lungo le aste terminali di fiumi. Allo scopo di mantenere sotto controllo questi aspetti, è stata quindi allestita una rete di monitoraggio composta da 144 punti di misura (Fig. 17.9).

17.5. ANALISI DELL'ESTENSIONE DEL PROCESSO

La rappresentazione dei risultati è stata effettuata attraverso la realizzazione di sezioni interpretative e mappe di zonizzazione.

17.5.1. Sezioni interpretative

Le sezioni interpretative del processo di contaminazione salina sono state effettuate combinando tra loro le indagini geoelettriche (SEV, ERT), litostratigrafiche, idrogeologiche e della conducibilità delle acque superficiali e dei livelli freatici.

Data la complessità del processo di salinizzazione, cui contribuiscono molteplici cause, e data la struttura del sottosuolo, caratterizzata da un'elevata variabilità litologica laterale e verticale anche a distanze ravvicinate, si è resa necessaria l'adozione di alcuni criteri di classificazione, riportati in una legenda appositamente elaborata, in grado di sintetizzare la situazione emersa dalle indagini multidisciplinari.

Il problema principale affrontato nella fase interpretativa è consistito nella discriminazione dei livelli limo-argillosi dalle falde contenenti acque a tenori salini medio-bassi. Infatti, le indagini geoelettriche, che costituiscono la principale fonte di informazioni per la realizzazione delle sezioni, forniscono una risposta elettrostratigrafica analoga relativamente a entrambe le situazioni indicate. In particolare l'*aquitard* di base, relativo alle falde salate, che impedisce il passaggio della contaminazione nei livelli dolci sottostanti, non risulta sempre individuabile e quindi nella fase di rappresentazione dei risultati per uniformità non è stato riportato.

La classificazione del tenore salino delle acque è stata condotta facendo riferimento a quella adottata nel Progetto ISES per l'uso delle acque a scopo agricolo-orticolo (CARBOGNIN & TOSI, 2003), in funzione, pertanto, dei limiti accettabili per le principali colture (Tab. 17.1).

Si è quindi stabilito di classificare le acque in:

- salate, quelle che presentano valori di conducibilità elettrica, misurati in pozzi e canali, superiori a 5 mS/cm e resistività elettrica del terreno inferiore a 3-4,5 ohm·m;
- salmastre, quelle che presentano valori di conducibilità elettrica dell'acqua dei pozzi e canali compresa tra 5 e 2 mS/cm e resistività elettrica del terreno compresa tra 3-4,5 e 15 ohm·m;

¹⁸ Vedi anche il capitolo 5 "Banche dati".

¹⁹ Vedi anche il capitolo 5 "Banche dati".

Conducibilità elettrica	Qualità dell'acqua		Grado di utilizzazione irrigua dell'acqua
	da bassa a media	Buona	
0.2-1	da bassa a media	Buona	tutte le piante
1.001-2	medio-alta	Tollerabile	piante meno tolleranti la salinità
2.001-3	alta	Dubbia	piante più tolleranti la salinità in condizioni di buon drenaggio
3,001-5	molto alta	Inutilizzabile	non adatta
5,001-16			

Tab. 17.1 - Valori di conducibilità elettrica (mS/cm) suddivisi per classi in funzione dell'attitudine del loro utilizzo per uso irriguo (da CARBOGNIN & TOSI, 2003).

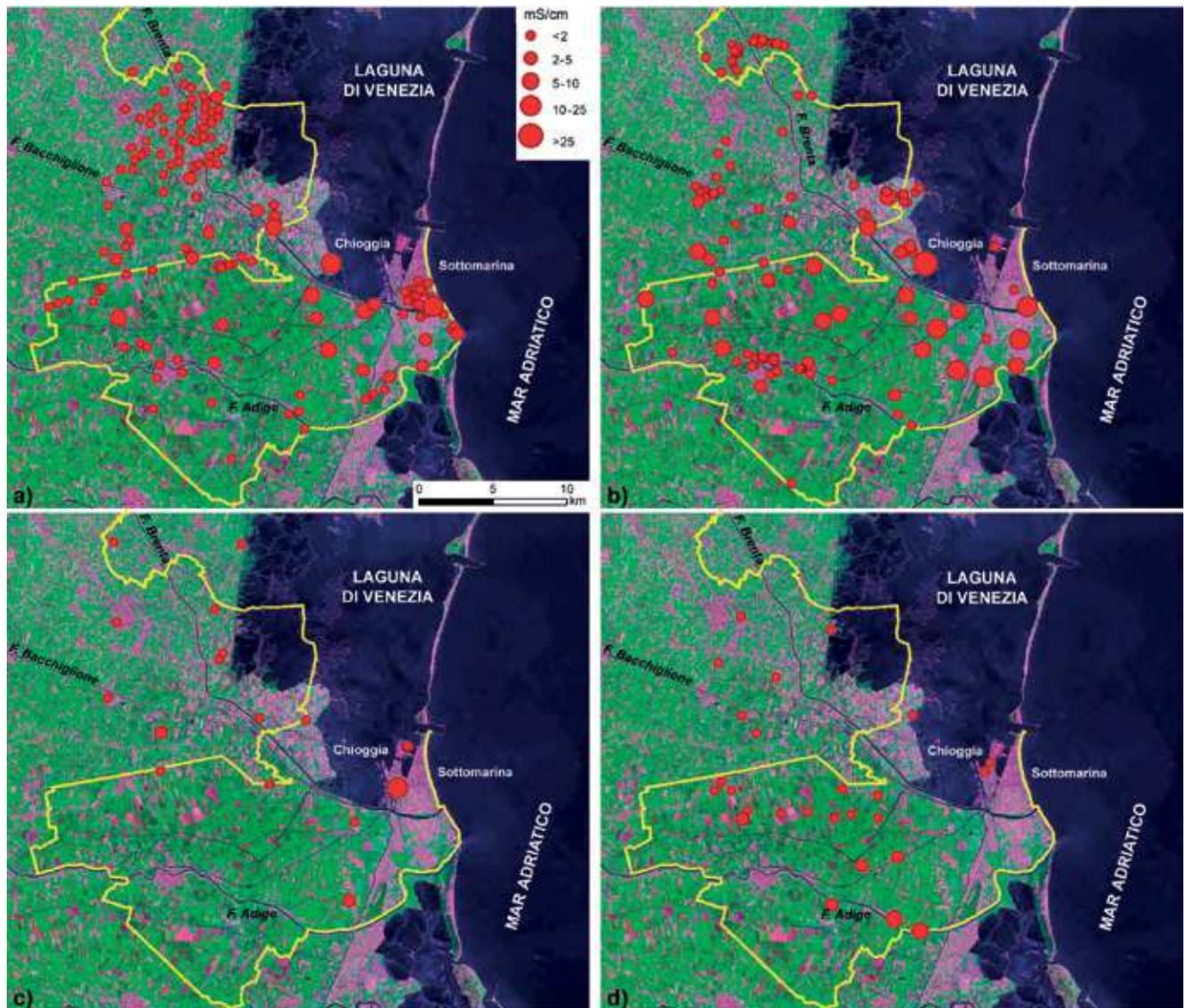


Fig. 17.8 - Rete di monitoraggio dei pozzi nel settore meridionale della provincia insistenti su acquiferi posti a diversa profondità dal piano campagna: a) 0-10 m; b) 10-50 m; c) 50-150 m; d) 150-300 m con un'indicazione della conducibilità elettrica espressa in mS/cm rilevata *in situ*.

- dolci, quelle con conducibilità elettrica, misurata in pozzi e canali, inferiore a 2 mS/cm e resistività elettrica del terreno superiore a 15 ohm·m.

Le acque classificate come salmastre hanno un tenore salino normalmente superiore a 800-1000 mg/l e generalmente non sono idonee all'uso irriguo, mentre quelle denominate salate possono raggiungere tenori salini analoghi a quelli della laguna e del

mare (circa 35.000 mg/l). Considerando invece il solo contenuto in cloruri, le acque possono essere definite salate quando il cloro è presente in quantità uguali o maggiori a 10.000 mg/l, dolci se è uguale o inferiore a 300 mg/l e salmastre nella fascia compresa tra questi due estremi (OUDE ESSINK, 2001; VANDENBOHEDE *et al.*, 2006).

Si ricorda che acque con tenori di NaCl superiori

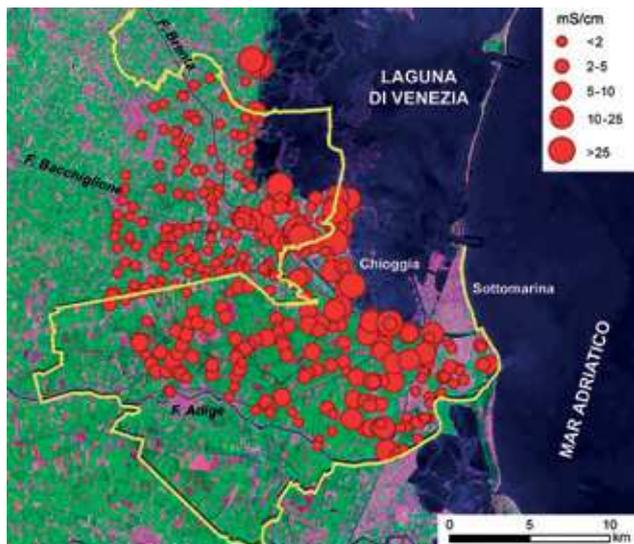


Fig. 17.9 - Rete di monitoraggio delle acque nell'area di studio meridionale con un'indicazione della conducibilità elettrica espressa in mS/cm rilevata *in situ*.

a 2000 mg/l non sono utilizzabili a scopi agricoli nell'area di indagine.

17.5.2. Settore settentrionale

Nell'area settentrionale indagata, i valori di conducibilità elettrica acquisiti nel 2005 nei piezometri a disposizione mostrano variazioni significative sia con

la profondità sia con la distribuzione areale. Solo in cinque piezometri situati in prossimità del fiume Sile e delle dune costiere il livello di salinità dell'acqua risulta costante con la profondità e tipico di acque dolci (valori < 1 mS/cm, P5, Fig. 17.10a), mentre le acque campionate negli altri punti di osservazione, in presenza di paleoalvei, in prossimità del fiume Piave e nelle zone interdunali, rivelano alti valori di conducibilità elettrica, crescenti con la profondità e variabili tra 3,5 e 12,8 mS/cm (P2-P7-P1, Fig. 17.10b-c-d). Inoltre, le misure di conducibilità effettuate nel periodo agosto 2004-maggio 2005 lungo i fiumi Piave e Sile permettono di osservare l'avanzamento dell'intrusione salina dal mare verso l'entroterra e di valutarne l'estensione sul letto dei fiumi. I due corsi d'acqua hanno un comportamento differente: lungo l'alveo del Piave il cuneo di intrusione risale fino a circa 20 km dalla foce (San Donà di Piave), facilitato dalla presenza, a Eraclea, di una depressione topografica in grado di favorire la propagazione e la dispersione delle acque salate nei territori circostanti; lungo il Sile, invece, la contaminazione, presente alla foce, è efficacemente attenuata dalla dispersione di acqua dolce proveniente dalle sorgenti di pianura che alimentano il fiume stesso (Di Sipiò *et al.*, 2008).

La rete idrografica superficiale mostra, invece, un progressivo incremento dei valori di conducibilità elettrica avvicinandosi alla costa: in sinistra Sile, tra gli abitati

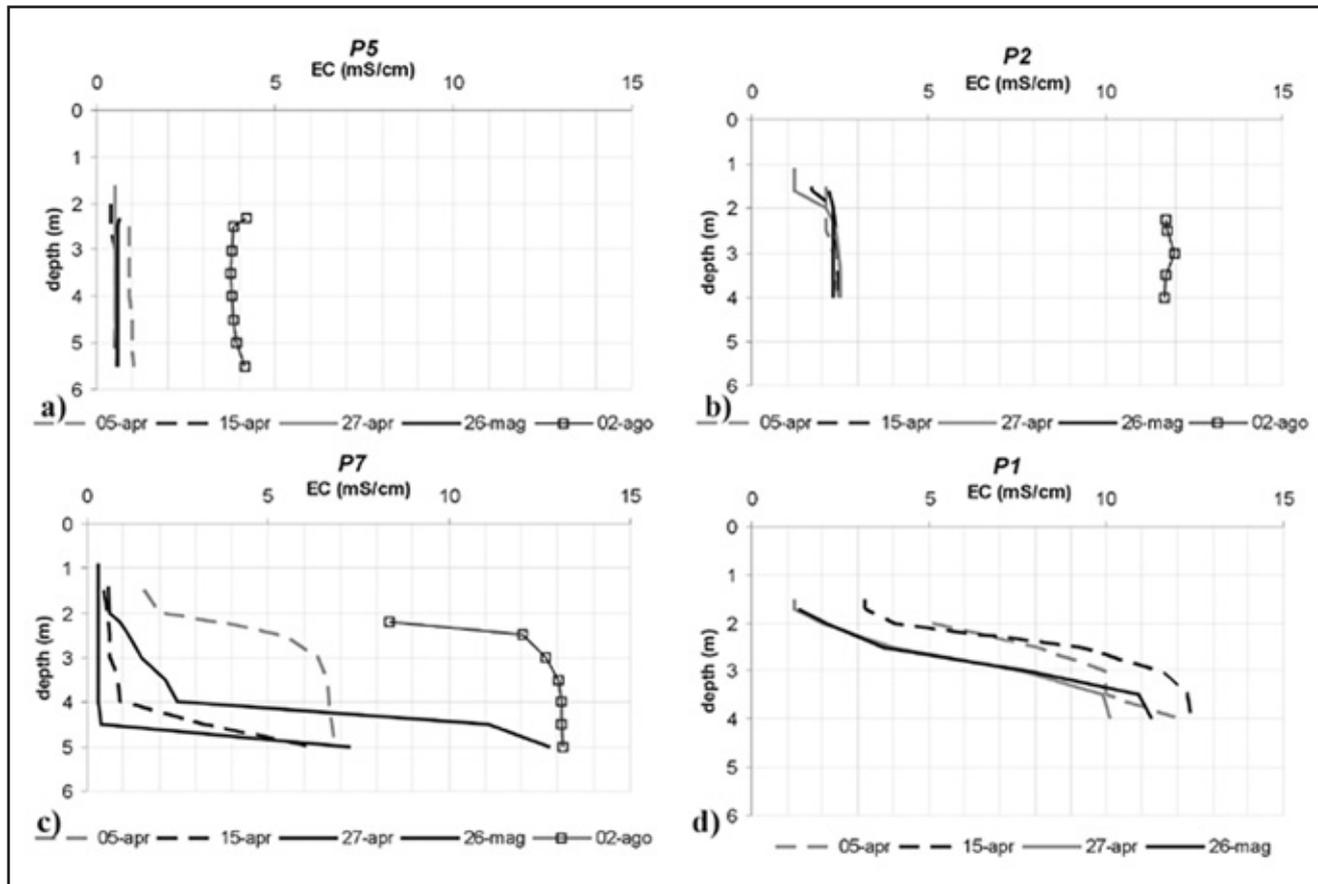


Fig. 17.10 - Valori di conducibilità elettrica per piezometri caratterizzati da basso (P5) ed elevato contenuto in sali (da Di Sipiò *et al.*, 2008).

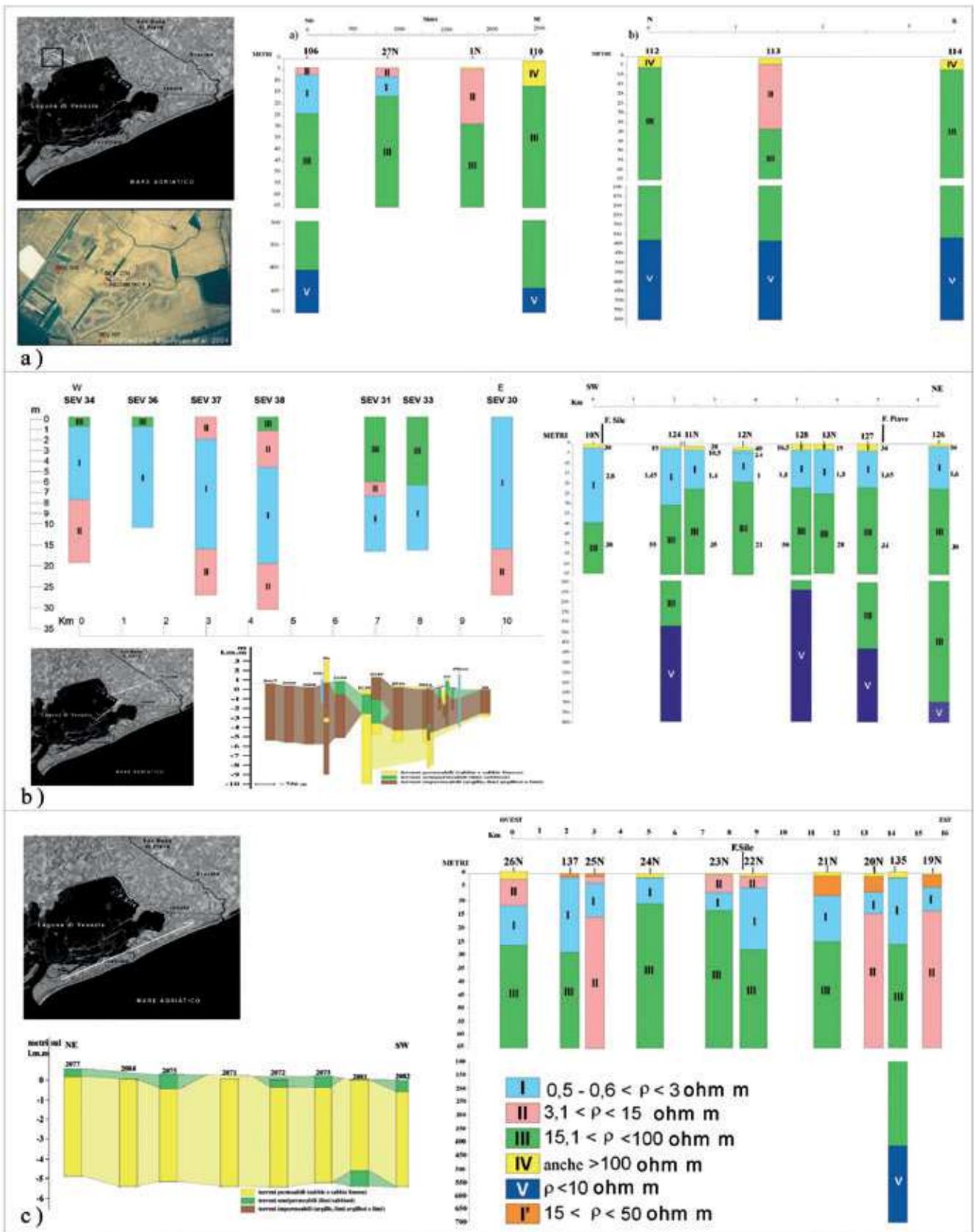


Fig. 17.11 - Sezioni elettrostratigrafiche per: a) territorio in sinistra idrografica del Sile (immagine satellitare dei paleoalvei da BONDAN *et al.*, 2004a); b) settore compreso tra i corsi del fiume Piave e Sile; c) fascia costiera.

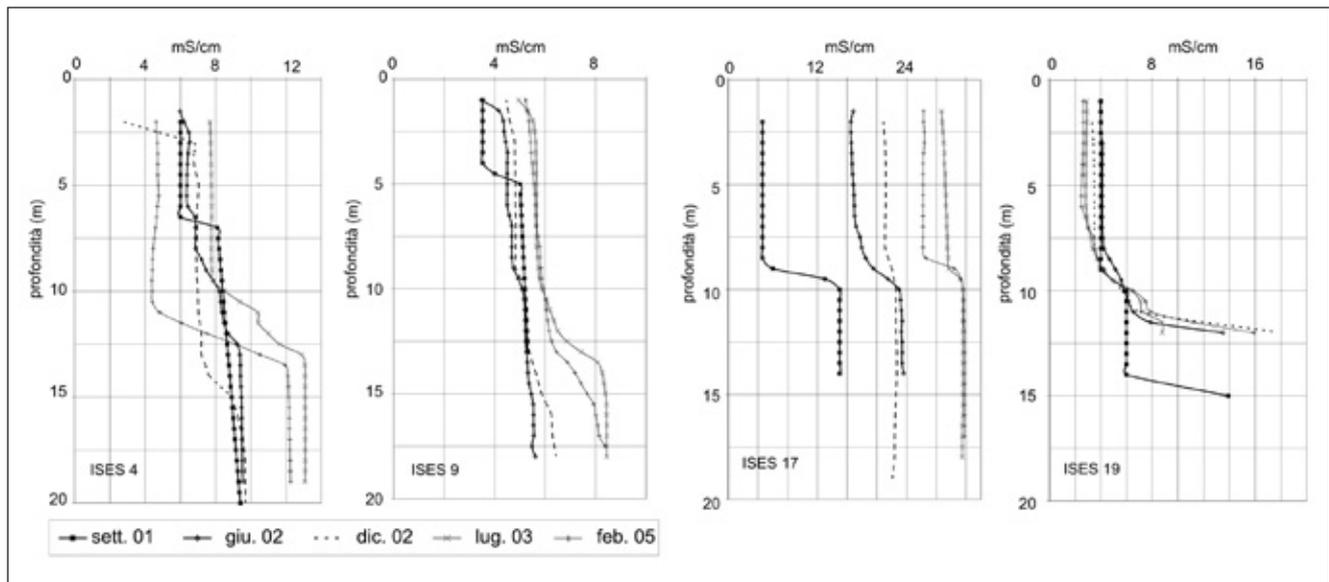


Fig. 17.12 - Variazioni stagionali della conducibilità elettrica (mS/cm) misurate in alcuni pozzi dell'area di studio meridionale (da CARBOGNIN *et al.*, 2005). L'ubicazione dei piezometri è riportata in Fig. 17.13.

di Portegrandi e Jesolo, i valori, generalmente inferiori a 2 mS/cm, indicano un basso tenore salino all'interno dei canali e una buona qualità delle acque; tra i corsi dei fiumi Piave e Sile, alti valori di conducibilità, compresi tra 2 e 15 mS/cm, sono tipici di un significativo deterioramento della qualità idrica delle acque, mentre lungo la fascia costiera la conducibilità elettrica supera spesso 25 mS/cm e le acque superficiali risultano inutilizzabili a fini irrigui (DI SPIO *et al.*, 2008). La stessa suddivisione della contaminazione tra il settore settentrionale, quello centrale e quello costiero indagati sembra confermata dai risultati ottenuti dalle indagini geofisiche. I profili elettrostratigrafici ottenuti dalla modellazione diretta e inversa dei dati acquisiti *in situ* rivelano la presenza di due substrati conduttivi: il primo, esteso fino a una profondità massima di circa 30 m, dovuto al fenomeno di intrusione salina superficiale; il secondo, a profondità di 400-800 m, legato alla presenza a grande profondità di acque saline fossili (BENVENUTI *et al.*, 1973; BENVENUTI *et al.*, 1974; DI SPIO *et al.*, 2005, 2006).

Il substrato conduttivo superficiale (resistività < 3 ohm·m), rappresentativo di un sottosuolo contaminato da acqua salata, in accordo con i dati di conducibilità elettrica e con i risultati delle analisi chimiche, è individuato in tutta l'area considerata. In sinistra idrografica del Sile, dove il fiume scorre parallelamente alla laguna e il territorio è soggiacente rispetto al livello medio del mare, lo strato altamente conduttivo si riscontra in corrispondenza di antichi canali lagunari o percorsi fluviali, come in prossimità del piezometro P1 (Fig. 17.11a), mentre, allontanandosi progressivamente dal margine lagunare, tende a essere sostituito da un livello più resistivo, associato alla presenza di materiali argilloso-limosi a basso tenore salino. Nel settore centrale, tra i fiumi Piave e Sile, bassi valori di resistività indicano in tutta l'area la presenza di terreni

interessati da falde a elevato tenore salino. Il letto di questo elettrostrato conduttivo può raggiungere i 35 m di profondità (Fig. 17.11b). L'elevato contenuto in sali è dovuto alla concomitanza di diverse condizioni critiche, quali la vicinanza delle laguna; la soggiacenza di estesi territori rispetto al livello medio del mare; la dispersione di acqua marina dal fiume Piave, pensile sul territorio, durante la fase crescente di marea e nei periodi di magra; la presenza di paleoalvei e paleocanali lagunari ad alta permeabilità, che costituiscono vettori preferenziali di trasmissione di acque ad alto tenore salino; l'attività di bonifica idraulica, che richiama in superficie acqua salata dalle zone più profonde; il fenomeno della subsidenza.

Nella fascia costiera, costituita principalmente da depositi sabbiosi, lo strato conduttivo mostra che il processo di salinizzazione delle acque di falda interessa i primi 25-35 m del sottosuolo. Talvolta, in superficie, si registrano valori di resistività compresi tra 15 e 50 ohm·m, corrispondenti a lenti di acqua dolce ospitate in apparati dunari costieri (Fig. 17.11c).

17.5.3. Settore meridionale

Nel settore meridionale, le analisi di conducibilità elettrica nei piezometri evidenziano l'esistenza di una oscillazione dell'interfaccia acqua dolce/acqua salata in corrispondenza delle variazioni idrauliche e meteorologiche stagionali (Fig. 17.12).

Come detto in precedenza, combinando tra loro i risultati degli studi settoriali (indagini geoelettriche, litostratigrafiche e idrogeologiche), sono state elaborate diverse sezioni interpretative del processo di contaminazione salina al fine di fornire un quadro complessivo del fenomeno in esame. Alcuni esempi sono riportati in Fig. 17.13.

Il profilo della *Sezione 1* ha direzione Est-Ovest e attraversa la stretta lingua di terra che separa la

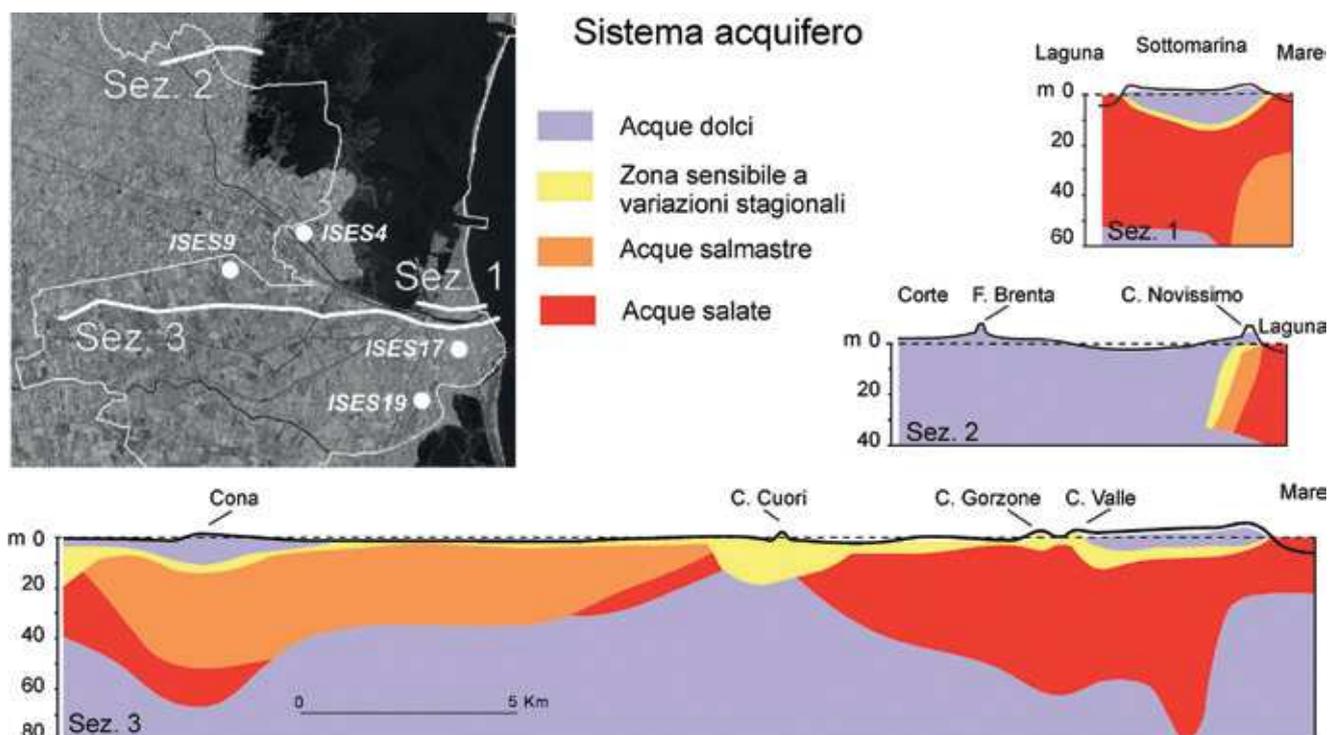


Fig. 17.13 - Sezioni rappresentative della contaminazione salina nell'area di studio meridionale con ubicazione dei piezometri riportati in Fig. 17.12.

laguna dal mare, passando attraverso la località di Brondolo.

Al di sotto di un primo livello di sabbia è presente nella falda freatica una importante lente di acqua dolce con uno spessore di una decina di metri nella zona centrale del lido, che si assottiglia gradualmente verso il mare e la laguna. Le misure di conducibilità elettrica, effettuate su alcune pozze per l'uso irriguo scavate anche fino a circa -5 m, e in pozzi e in piezometri superficiali, hanno indicato la presenza di acque dolci. Trasversalmente al cordone dune di Sottomarina, GALGARO *et al.* (2000) hanno realizzato un rilievo Georadar sperimentale che ha consentito di individuare l'interfaccia acqua dolce-salata e la sua relazione con le strutture geomorfologiche sepolte come le antiche linee di costa.

Il sottostante livello ad acqua salata, con la sua geometria a doppio cuneo, esemplifica la tipica fenomenologia dell'intrusione salina nelle aree insulari provenienti, in questo caso, sia dal mare che dalla laguna.

La *Sezione 2* mostra come nell'area settentrionale la propagazione del cuneo salino è decisamente limitata, molto probabilmente per l'alimentazione delle falde da parte dei fiumi Brenta e Bacchiglione.

La *Sezione 3* ha origine a ovest di Cona e termina sulla costa, immediatamente a sud della foce del fiume Brenta. Gran parte del territorio in corrispondenza di questa sezione è contaminato da acqua salata o salmastra. Nella estremità occidentale il fenomeno potrebbe essere correlato alle acque fossili, a loro volta legate all'ultima fase ingressiva/regressiva che

ha rispettivamente portato e sigillato il "paleocuneo salino" a questa distanza dalla costa attuale.

Il Canale dei Cuori, nel settore centrale di quest'area, in corrispondenza dell'estremità meridionale del Bacino Zennare, assume stagionalmente un ruolo positivo nella mitigazione del processo di contaminazione salina, in concomitanza al rilascio di acque dolci per l'irrigazione (Sez. 3).

Spostandosi già di poco verso la parte orientale della sezione ritorna prepotentemente la presenza di acqua salina che è da attribuire senza dubbio all'intrusione delle acque marine e lagunari e alla contaminazione dovuta alla dispersione delle acque di marea dalla rete idrografica.

La dispersione dell'acqua di marea che risale i fiumi Brenta, Bacchiglione, Adige e i canali di Valle e Gorzone contribuisce ad aggravare la già preoccupante situazione della fascia costiera.

A est del Canale di Valle, dove le quote topografiche sono nettamente al di sopra del livello del mare e sono presenti consistenti corpi sabbiosi relativi alle dune antiche e recenti e ai paleocordoni litoranei, la falda freatica dolce può raggiungere 10 m di spessore e garantire così un buon franco di coltivazione, malgrado in alcune aree le oscillazioni stagionali siano di entità non trascurabili.

A ovest del Canale di Valle, dove invece i territori sono normalmente a quote inferiori al livello medio del mare, la contaminazione salina è prossima alla base dei suoli coltivati. Anche le acque superficiali, che in molti periodi drenano la falda freatica, ne evidenziano il contenuto salino. Nel periodo irriguo, viceversa,

la stessa rete scolante assume un effetto mitigante della salinità di enorme importanza, grazie alla provenienza delle acque dolci rilasciate a monte dai Consorzi di bonifica.

17.5.4. Area di studio settentrionale

L'interpretazione complessiva dei dati ottenuti sia dall'analisi dei *logs* di conducibilità sia dall'elaborazione dei SEV permette di tracciare una mappa di delimitazione della contaminazione salina superficiale che include i primi 25-30 m del sottosuolo (Fig. 17.14). L'area interessata da acque ad alto tenore salino e quindi potenzialmente critica corrisponde alla fascia costiera e al territorio compreso tra il corso dei due fiumi principali. Un'elevata salinizzazione del territorio si registra anche in corrispondenza di paleoalvei e paleocanali lagunari, che agiscono nel sottosuolo come veri e propri vettori preferenziali di movimento per le acque ad alto tenore salino. Le aree a bassa salinizzazione o esenti da contaminazione salina, invece, legate alla presenza nel sottosuolo di acque dolci di

origine continentale con bassi valori di conducibilità elettrica, coincidono con i terreni situati all'estremità settentrionale dell'area di studio e, inoltre, con le aree circoscritte all'interno delle zone a elevata salinizzazione in prossimità del fiume Sile o lungo le dune costiere. Infine, la zona di transizione, che collega le prime due, è interessata da terreni saturi d'acqua a medio tenore salino, comunque non utilizzabile a scopo irriguo.

Semplificando, lo schema di diffusione delle acque ad alto tenore salino dall'alveo del Piave lungo la direttrice NE-SO (Fig. 17.15) individua un terreno di copertura (A) non interessato da salinizzazione. La fascia a bassa resistività, legata alla diffusione delle acque ad alto tenore salino (B), a profondità variabile tra 3-5 m fino a 20-35 m dal piano campagna, è caratterizzata i) dalla presenza delle strutture sepolte degli antichi percorsi fluviali e dei paleocanali lagunari, ii) dagli acquiferi superficiali, iii) dal contatto diretto con l'alveo del Piave, iv) dall'assenza di comunicazione diretta con l'alveo del Sile, inserito in sedimenti imper-

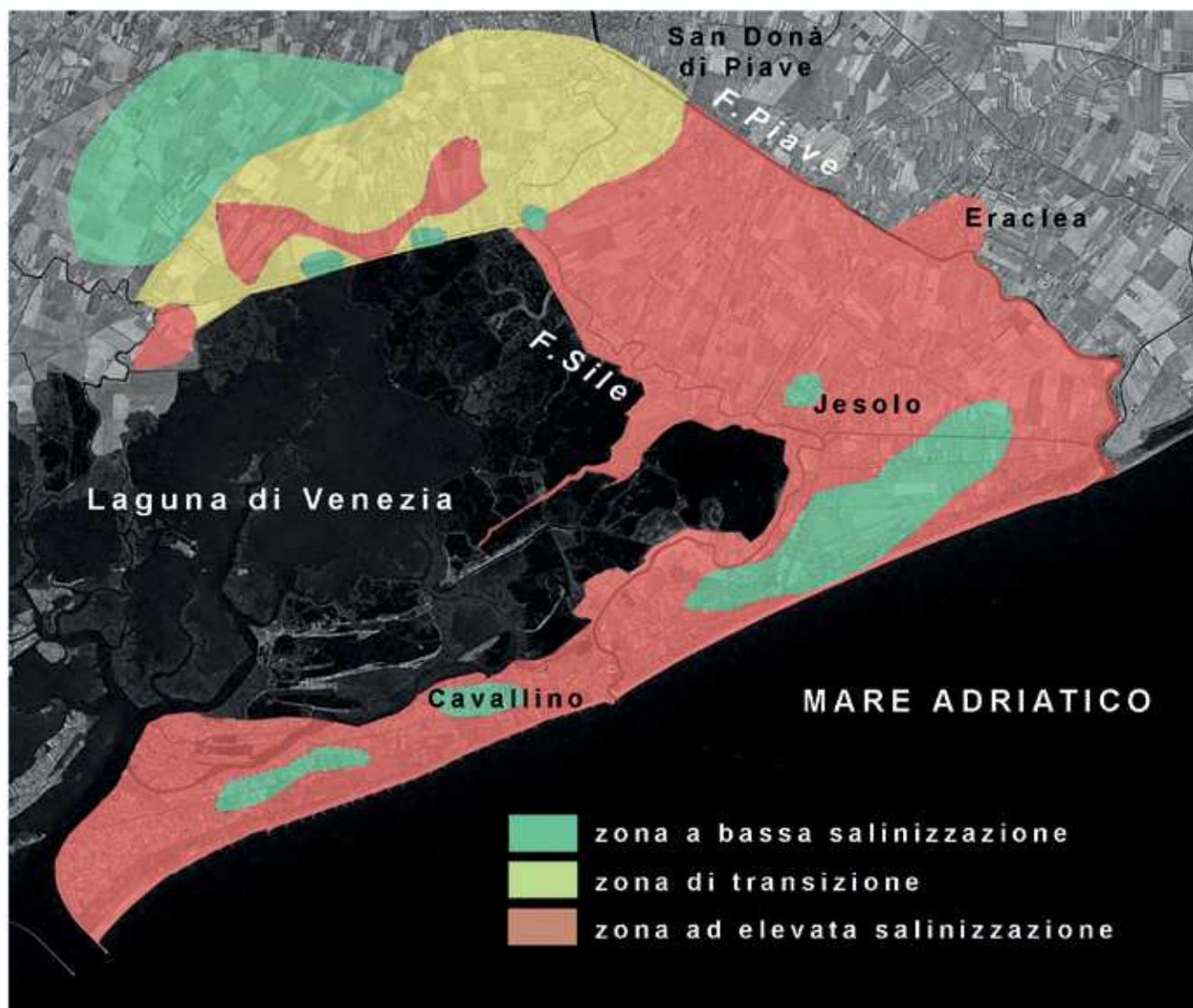


Fig. 17.14 - Mappa di delimitazione della contaminazione salina superficiale nell'area di studio settentrionale.

meabili, v) dalla comunicazione diretta con la laguna. La presenza dell'elettrostrato conduttivo può essere dovuta sia al contatto diretto con la laguna sia alla dispersione diretta delle acque del cuneo salino dal letto del Piave. Pertanto tutta l'area è classificata ad alto grado di salinizzazione.

Il tetto dell'elettrostrato conduttivo superficiale si trova a 2-4 m di profondità dal piano campagna in sinistra idrografica del Sile (settore settentrionale) fino a raggiungere 8-9 m di profondità allontanandosi progressivamente dal margine lagunare in direzione nord; nel settore compreso tra Piave e laguna, invece, si attesta generalmente a 2 m dalla superficie; lungo la costa, infine, è rilevato a 10 m di profondità in corrispondenza dei cordoni dunari, dove la presenza di lenti di acqua dolce con spessore variabile da 2 a 8 m determina l'approfondimento delle acque ad alto tenore salino di provenienza marina. In direzione SO, verso Cavallino, il tetto dell'elettrostrato a bassa resistività torna prossimo alla superficie del piano campagna (-2 m).

Le analisi geochimiche-isotopiche delle acque condotte su campioni d'acqua prelevati nei piezometri a disposizione confermano l'esistenza del fenomeno di intrusione salina proveniente da mare e da laguna, confermando i risultati raggiunti dalla metodologia geofisica. La composizione delle acque di falda è estremamente varia e si possono distinguere diverse facies idrogeochimiche: acque arricchite in ioni Ca^{2+} e Mg^{2+} legate al drenaggio del Sile; acque cloruro solfato magnesiate tipiche di acquiferi sospesi in dune sabbiose e di acquiferi freatici in sinistra idrografica del Sile; acque di mescolamento con valori di Cl^- compresi tra 7 e 14 mg/l trovate nei piezometri situati in destra idrografica del Piave; acque a prevalenza di ioni Cl^- e Na^+ , indicative di un'elevata contaminazione salina. In sintesi, è possibile riconoscere un arricchimento in cloruri nelle acque di falda prelevate in prossimità del fiume Piave, in corrispondenza di antichi canali lagunari e paleoalvei in grado di eludere la barriera idraulica costituita dal Sile, nonché nella zona costiera, negli acquiferi superficiali sabbiosi non ospitati all'interno di dune sabbiose. Mar Adriatico e Laguna di Venezia si confermano le principali fonti di contaminazione.

Le analisi isotopiche (Fig. 17.16), d'altro canto, confermano l'evoluzione chimica delle acque da termini prettamente marini verso acque di tipo continentale (ZUPPI & SACCHI, 2004). Si distinguono acque di origine alpina, soggette a ricarica sotterranea, in pozzi artesiani profondi (GW); acque freatiche superficiali, influenzate dal corso del fiume Sile (Sile W); acque di mescolamento (MW), che tendono ad indirizzarsi verso valori tipicamente marini e lagunari, e acque tipicamente lagunari (LW, L-SW). L'ingresso di acqua salata dal mare e dalla laguna riesce a diffondersi in tutto il territorio esaminato, a eccezione di alcune zone costiere, in cui l'effetto è mitigato dalle lenti di acqua dolce ospitate nei depositi dunari, e delle aree

più prossime al Sile, in cui la contaminazione è mitigata dalla presenza e dalla dispersione delle acque dolci provenienti dal fiume di risorgiva.

L'influenza del fiume Piave sul territorio circostante è ben illustrata nella Fig. 17.17, in cui il profilo idrografico del corso del fiume è messo in relazione con l'altimetria e il modello elettrostratigrafico del territorio e confrontato con i contenuti in Cl^- e in $\delta^{18}\text{O}$ ottenuti dalle acque campionate. Il Piave, pensile rispetto alla pianura circostante, possiede un livello idrometrico in grado di alimentare per carico idraulico maggiore gli acquiferi superficiali. Tale processo è favorito dalla presenza di un alveo permeabile formato prevalentemente da sabbie.

Se si considera un profilo idrografico orientato E-O, appare subito evidente il maggior carico idraulico del Piave rispetto al Sile e la presenza di zone altimetricamente soggiacenti il livello medio mare. Il deflusso sotterraneo ha direzione prevalente E-O e l'elevato grado di salinizzazione del sottosuolo, come risulta dai SEV, è legato anche alla dispersione di acqua marina dall'alveo del Piave verso la laguna. Il contenuto in Cl^- delle acque è molto elevato in prossimità del Piave e diminuisce progressivamente verso ovest. I valori isotopici dell'ossigeno confermano la presenza del processo di diluizione tra acque dolci continentali e acque marine. Pertanto i fiumi ricaricano direttamente la falda, ma il Piave contribuisce attivamente alla salinizzazione del territorio disperdendo le acque di ingressione marina che risalgono lungo il suo letto, veicolandole nuovamente verso la laguna. Non bisogna comunque dimenticare il contributo dei canali di irrigazione in fase di alimentazione della falda e dei processi di evaporazione, che si inseriscono all'interno del quadro appena tracciato.

17.5.5. Area di studio meridionale

Sulla base di tutti i dati emersi dalle analisi e dalle prime rappresentazioni a sezione, si sono elaborate due mappe di zonizzazione del processo relativamente alla morfologia del tetto e del letto della contaminazione salina, in grado di fornire una visione sinottica dell'evoluzione tridimensionale del processo. La mappa del tetto (Fig. 17.18) rappresenta la profondità a cui compare la prima falda salata, ovvero l'interfaccia acqua dolce/acqua salata, e approssimativamente, se si esclude il primo sottile livello areato, lo spessore dell'acqua dolce sovrastante.

Poiché, come si è già visto nelle indagini dirette *in situ* e nell'elaborazioni dei parametri monitorati, la profondità a cui si rinviene la prima interfaccia acqua dolce/acqua salata varia con le diverse condizioni idrauliche e meteorologiche, ne consegue che la mappa del tetto della contaminazione salina è una rappresentazione mediata dello sviluppo del processo.

In particolare le variazioni sono maggiormente sensibili nell'intervallo di profondità 0-10 m, come già evidenziato nelle sezioni interpretative illustrate nei paragrafi precedenti.

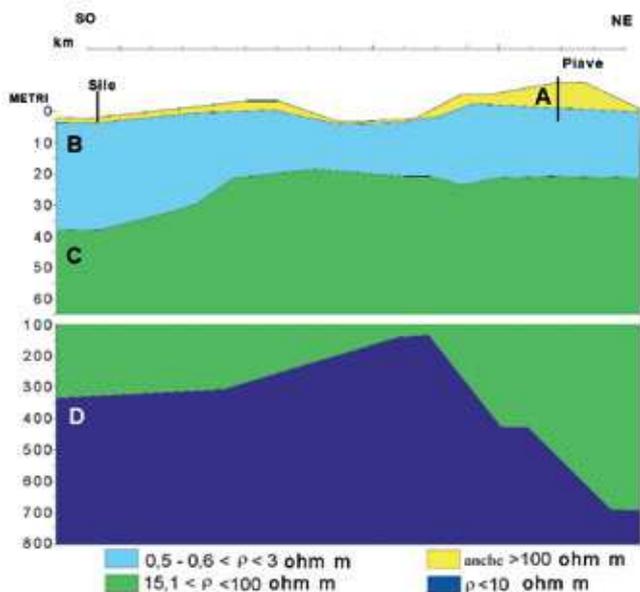


Fig. 17.15 - Schema semplificato dell'andamento della resistività elettrica nel sottosuolo lungo la direttrice NE-SO, direttamente collegato alla diffusione della contaminazione salina nell'entroterra (bassi valori di resistività indicano un alto tenore salino).

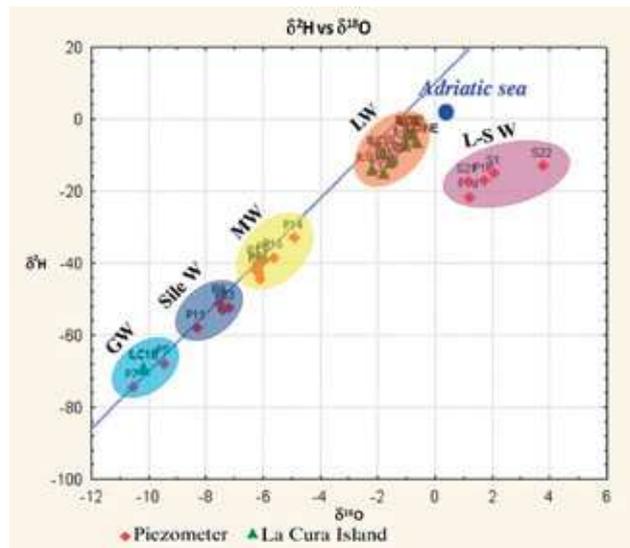


Fig. 17.16. Analisi isotopica delle acque dell'area di studio settentrionale: GW = acque di ricarica alpina, Site W = acque freatiche; MW = acque di mescolamento; LW e L-SW = acque lagunari e marine; GMWL = *global meteoric water line* (da Di SIPIO *et al.*, 2008; RAPAGLIA *et al.*, 2010).



Legenda elettrostratigrafica
I 0,5 -0,6 <math>\text{res} < 3 \text{ ohm m}</math>
IV res >100 ohm m

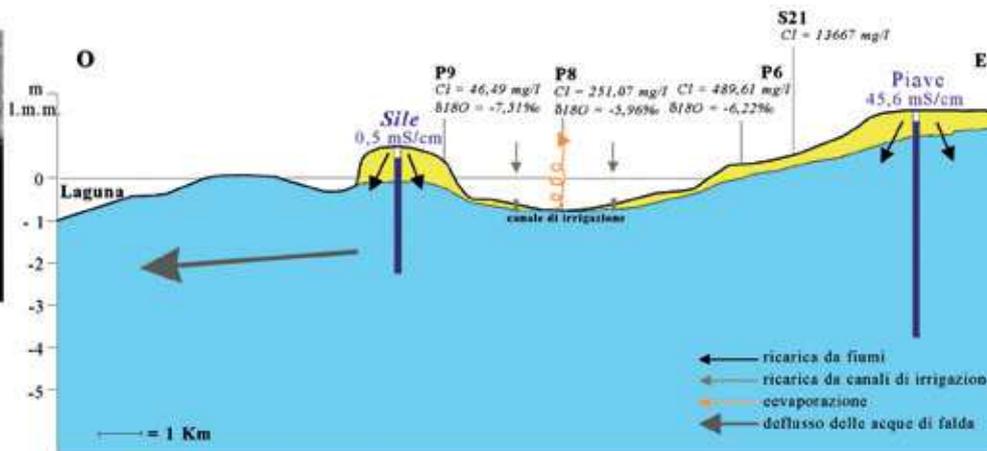


Fig. 17.17 - Profilo idrografico su base altimetrica del corso del fiume Piave in direzione O-E. Il sottosuolo è rappresentato su base elettrostratigrafica, tarata mediante confronto con i sondaggi litostratigrafici disponibili, ed è corredato da informazioni di carattere chimico e isotopico.

La mappa è stata suddivisa in 6 classi di profondità equidistribuite da 0 a 30 m. Le aree che appartengono alla prima classe di profondità (0-5 m) sono quelle decisamente critiche in quanto la contaminazione salina può coinvolgere direttamente i terreni coltivati. Le aree della seconda classe (5-10 m) sono ad alto rischio in quanto stagionalmente soggette a variazioni che possono far risalire il livello dell'acqua salata. Le aree ricadenti nelle rimanenti classi, pur sensibili alle variazioni stagionali dell'interfaccia, sono decisamente a rischio via via decrescente.

Le zone esenti da contaminazione salina sono:

- l'area compresa tra il fiume Brenta e il fiume Bacchiglione fino all'altezza circa di Correzzola-Codevigo (PD);
- una ristretta area all'interno del Bacino Zennare.

Le aree critiche, con acqua salata entro i primi 5 m, sono:

- tutto il margine lagunare che include Fogolana, Santa Margherita, Conche (PD), Valli, Ca' Bianca, Ca' Pasqua, Punta Gorzone, Chioggia, nonché la fascia costiera tra Sottomarina e la foce dell'Adige; due fasce che si prolungano dal bordo lagunare fino al fiume Adige, interessando rispettivamente le zone di Cantarana, Cordonazzo, Solferino, Brusio, Villaggio Busonera di Cavarzere, Valgrande, Valcerere Dolfina e l'area poco a NO di Cavanella; altre aree senza apparente continuità di distribuzione e circoscritte che, in senso antiorario a partire da nord, sono: l'area compresa tra Santa Margherita e Brenta d'Abbà in corrispondenza dell'idrovora Presa, poco a NO dell'idrovora Barbegara (a sud di Correzzola-PD); l'area fra Conetta e Fra Piero a NE di Agna; l'area tra l'Idrovora Tassi e Marcanta (poco a nord di Ca' Venier); un'area interna al Bacino

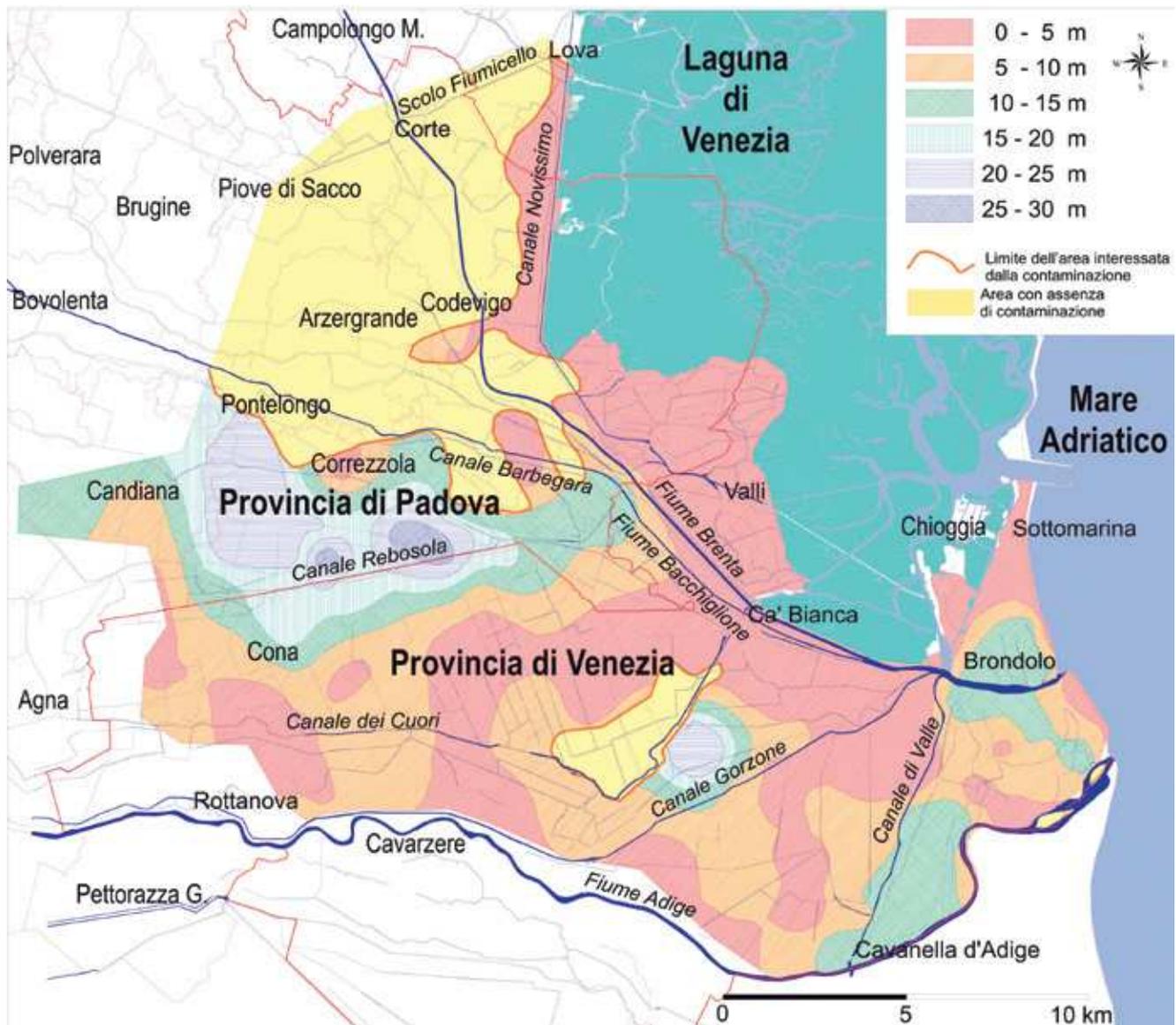


Fig. 17.18 - Mappa della profondità del tetto dell'elettrostrato conduttivo che corrisponde a quella dell'interfaccia acqua dolce-salata (da CARBOGNIN e TOSI, 2003).

Civrana tra Corte Duoda e Corte Emo; una fascia prossima al fiume Adige compresa tra Buoro Vecchio, San Pietro di Cavarzere e Bebbe; l'area in riva all'Adige a valle di Punta Bussola.

Le aree ad alto rischio, con il livello dell'acqua salata compreso tra 5 e 10 m e in molti casi oscillante di qualche metro in condizioni sfavorevoli, sono:

- due fasce di forma e larghezza molto variabile che vanno ad interessare le aree di: Candiana (PD), Cona, l'area tra Civè, La Sista e Ca' Rossa, l'Idrovora Civrana, Ca' Venier, Cavarzere, Motta Molara, Valcerere, Motta Contarina, Idrovora San Pietro, Tenuta Alfieri e Ca' Lino.

Le aree a rischio via via decrescente vengono menzionate suddivise per il settore costiero e per quello centrale.

a) le aree nel settore costiero sono:

- la fascia centrale a nord di Ca' Lino e a sud di Sottomarina;

- l'area compresa tra Cavanella d'Adige e Sant'Anna;
- una ristretta fascia comprendente San Gaetano;
- b) le aree nel settore centrale in esame sono:
- l'area di Arre (PD), Foresto, Civè, Treponti e, in misura minore, Pegolotte, Villa del Bosco, Conca-dalbero e Cantarana.

Le morfologie rappresentate nella mappa del tetto della contaminazione salina sono quindi influenzate da fattori indotti (piovosità, prelievi di acqua, attività delle idrovore, rilasci irrigui) e dalla presenza di alcune strutture geologiche sub-superficiali originatesi durante il processo evolutivo dell'area in esame, quali ad esempio i paleovalvi, gli antichi cordoni litorali e le dune costiere. Infatti, è possibile individuare una certa relazione tra le forme prodotte dalla zonazione e quelle delle strutture geomorfologiche principali sub-affioranti. Nelle aree ove sono presenti gli antichi cordoni litorali e le dune, malgrado la prossimità al mare, lo strato di acqua dolce che riesce ad accumu-

larsi è in grado di deprimere il tetto del cuneo salino fino a circa 15 m dal piano campagna nella fascia ad est del Canale di Valle e di Sottomarina. Un esempio di questo processo per il settore di Sottomarina-Ca' Lino è rappresentato dettagliatamente in Figura 17.13 (Sez. 1).

Ad ovest del Canale di Valle, ove le quote del piano campagna sono generalmente inferiori al livello del mare, le paleo-strutture mantengono in alcuni casi una lente di acqua dolce di poco meno di 10 m, mentre in altri casi favoriscono il flusso delle acque saline, come avviene ad esempio a San Pietro di Cavarzere. Esempi interessanti di paleo-strutture che convogliano acque salate dalla laguna sono quello di Punta Gorzone, di Ca' Bianca e di Conche-Valli.

Infine, il consistente sistema di paleoalvei che attraversa tutta l'area centro-settentrionale di questa parte del territorio provinciale ha un duplice comportamento: nella porzione settentrionale funge da serbatoio per l'accumulo dell'acqua dolce ostacolando

la propagazione del cuneo salino, mentre in quello centrale mantiene solo in parte la falda salata al di sotto dei 20 m, che in questo caso è anche di origine fossile, e in parte cattura le acque saline.

Anche per il letto della contaminazione salina, benché per l'uso agricolo dei suoli sia di importanza ridotta rispetto alla morfologia del tetto, è stata redatta la mappa della sua superficie morfologica (Fig. 17.19) e individuata la sua zonazione. Viene qui definito come letto della contaminazione salina il passaggio agli acquiferi dolci che si trovano sotto il livello a spessore variabile di litotipi a bassissima permeabilità che funge da "barriera" alla propagazione in profondità dell'acqua salata. Questo livello argilloso, come già spiegato a proposito delle sezioni interpretative, è difficilmente individuabile con i metodi di prospezione geofisica perché non è sempre distinguibile dall'acquifero salato sovrastante.

La morfologia del letto dipende quindi dallo sviluppo degli orizzonti argillosi, dal loro grado di permeabilità

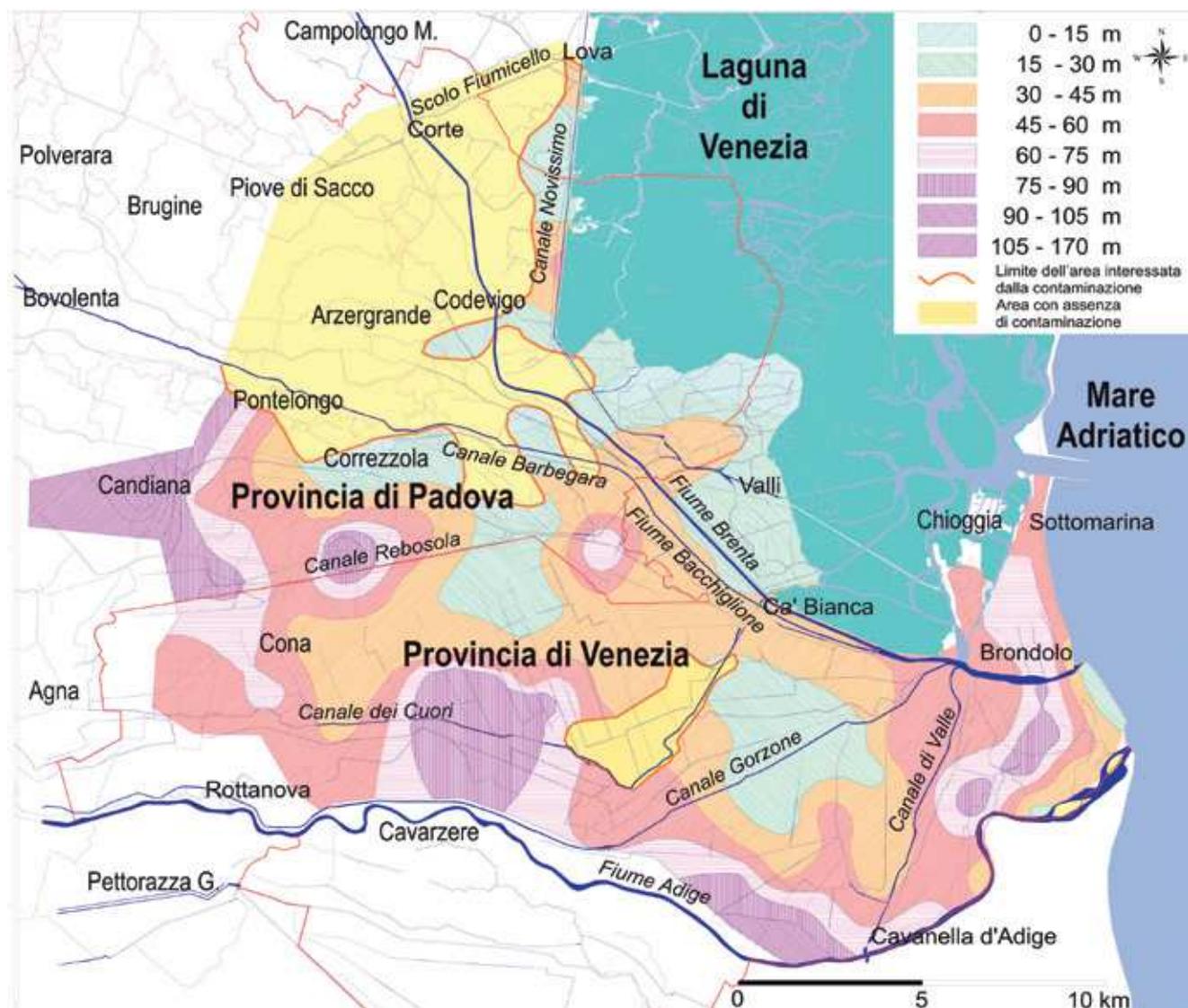


Fig. 17.19 - Mappa della profondità del letto dell'elettrostrato conduttivo (da CARBOGNIN & TOSI, 2003).

nonché dal loro spessore. Si ricorda che raramente sono stati individuati livelli impermeabili ad ampia continuità spaziale a causa della complessa storia geologica di queste aree deltizie che, come noto, sono state oggetto di più trasgressioni marine intercalate a fasi continentali spesso erosive che hanno inciso fortemente i livelli deposizionali sottostanti.

La zonazione della base della contaminazione salina è stata eseguita utilizzando per i primi 105 m sette classi di profondità con intervalli di 15 m e quindi una classe cumulativa delle profondità rimanenti di 65 m. La base della contaminazione salina in generale si approfondisce procedendo da nord verso sud, partendo da una profondità media di 15-30 m per arrivare a 60-75 m. Approfondimenti localizzati sono stati individuati fino a 90 m in corrispondenza delle aree di Ca' Lino e del Villaggio Busonera di Cavarzere; fino 100 m e oltre a NO di Cavanella d'Adige e Pegolotte e, addirittura, fino a 170 m a Candiana (PD).

La conoscenza della morfologia del tetto e della base della contaminazione salina, oltre a individuare le acque saline, dal punto di vista pratico fornisce utili indicazioni sulla presenza delle acque dolci. A tal proposito va però precisato che gli acquiferi dolci non sono sempre idonei a essere sfruttati in quanto le loro caratteristiche di permeabilità-trasmissività idraulica potrebbero essere scadenti, come pure la qualità biochimica dell'acqua a causa di fonti di inquinamento. Inoltre esiste la possibilità che un eccessivo pompaggio induca un processo di subsidenza e aggravi quello di contaminazione salina.

L'utilizzo di queste acque deve essere quindi accuratamente valutato, di volta in volta, con indagini specifiche che abbiano come punto di partenza quanto ottenuto col presente studio.

La caratterizzazione idrogeochimica delle acque, per esempio, permette di distinguere tre facies differenti: a) acque cloruro alcaline, arricchite in ioni Cl^- e Na^+ , definite come salate e/o salmastre a seconda del contenuto in cloruri (mg/l), tipiche di acque lagunari, marine e di livelli freatici contaminati; b) acque bicarbonato alcaline, ad alto tenore di ioni Ca^{2+} e HCO_3^- , appartenenti alla circolazione idrica sotterranea o al sistema idrico superficiale (fiumi, acque dolci continentali); c) acque continentali a composizione intermedia, rinvenute nei canali di irrigazione, in stazioni di pompaggio e in diversi pozzi di riferimento (GATTACECCA *et al.*, 2009).

Le analisi isotopiche confermano l'esistenza nel sottosuolo di un processo di mescolamento tra acque salate di origine marina e acque dolci continentali. I valori di deuterio e ossigeno-18 determinati in laboratorio permettono di discriminare i diversi gruppi interagenti tra loro (Fig. 17.20). Le acque dolci continentali, impoverite in $\delta^2\text{H}$ e $\delta^{18}\text{O}$, derivano sia dalle acque di ricarica alpina e prealpina (GW) della circolazione idrica sotterranea, attiva a scala regionale, sia dalle acque freatiche (FW) legate al contributo della dispersione fluviale e delle precipitazioni meteoriche.

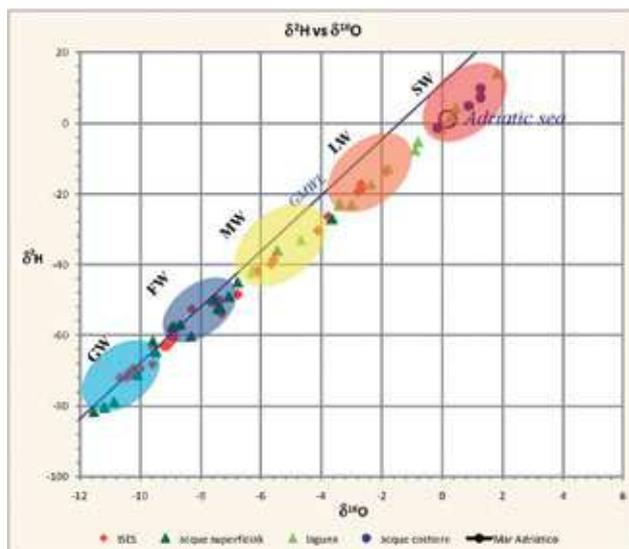


Fig. 17.20 - Analisi isotopica delle acque del settore meridionale: GW = acque di ricarica alpina, FW = acque freatiche; MW = acque di mescolamento; LW e SW = acque lagunari e marine; GMWL = *global meteoric water line* (dati da GATTACECCA *et al.*, 2009).

Sono rinvenute principalmente nei piezometri ubicati nell'entroterra, lontano dalla linea di costa, verso NO, dove il tasso di subsidenza è relativamente basso e le quote altimetriche sono superiori al livello medio del mare (Di SPIO *et al.*, 2007; TEATINI *et al.*, 2005).

Nei campioni prelevati nei piezometri situati in posizione intermedia tra costa ed entroterra, in corrispondenza di aree subsidenti soggiacenti al livello medio del mare, la composizione isotopica è compresa tra i due termini estremi delle acque dolci continentali e delle acque salate di origine marina (valori positivi di $\delta^2\text{H}$ e $\delta^{18}\text{O}$ sono tipici del Mar Adriatico - SW), individuando nel sottosuolo acque salmastre di mescolamento (MW) in accordo con i dati geochimici in precedenza ottenuti. In prossimità della fascia costiera e della gronda lagunare, invece, ad un ulteriore incremento del tenore in Cl^- e Na^+ corrispondono valori isotopici assimilabili a quelli delle acque lagunari (LW). La contaminazione salina dei livelli freatici superficiali risulta, pertanto, particolarmente elevata in corrispondenza della fascia costiera e lagunare e, come rilevato anche dai dati geofisici, nelle aree altimetricamente depresse ai margini dei corsi fluviali, pensili sul territorio circostante e interessati dal fenomeno di risalita del cuneo salino lungo il loro alveo.

17.6. ANALISI DELLE COMPONENTI DEL PROCESSO

I fattori che intervengono a innescare o aggravare il processo di contaminazione salina sono da ricercare, in generale, nelle condizioni meteoroclimatiche che spesso condizionano l'attività delle idrovore, prelievi/rilasci d'acqua dolce, nelle dispersioni dell'acqua di marea che risale le foci dei fiumi e dei canali e anche nella presenza/assenza di particolari caratteristiche geomorfologiche del sottosuolo.

17.6.1. Area di studio settentrionale

La contaminazione salina interessa tutto il territorio esaminato, a eccezione di alcune zone costiere e di alcune aree in prossimità del Sile, in cui l'effetto è mitigato, rispettivamente, dalle lenti di acqua dolce sospese nei depositi dunari e dalle acque disperse dal fiume di risorgiva. Fonti principali della salinizzazione, come indicato dalle analisi geofisiche e idrogeochimiche, sono il Mar Adriatico, la Laguna e il fiume Piave: le acque penetrano nell'entroterra sfruttando le caratteristiche litologiche e geomorfologiche del territorio, quali la presenza di paleoalvei, paleocanali lagunari e di zone di bonifica soggiacenti al livello medio del mare (DI SIPIO *et al.*, 2008; RAPAGLIA *et al.*, 2010).

L'intenso sfruttamento agricolo e turistico del territorio determina nel lungo periodo l'incremento dei prelievi dal sottosuolo con conseguente deterioramento della qualità delle acque e possibili ripercussioni sull'attività agricola dominante. L'interfaccia acqua dolce-acqua salata si trova a ridosso della superficie topografica, prevalentemente a 2 m di profondità: un suo eventuale innalzamento potrebbe portare alla perdita dei raccolti in seguito alle mutate condizioni ambientali (peggioramento della criticità dell'area) e alla necessità di sostituire le colture con altre più tolleranti alla presenza dei sali. A nord di Portograndi, invece, verso l'entroterra, a una maggiore lontananza dal margine lagunare corrisponde una diminuzione delle condizioni di salinizzazione.

Per ridurre il tenore salino delle acque degli acquiferi non confinati, potrebbe essere utilizzata efficacemente la rete idrografica superficiale dei canali di bonifica e di scolo. In corrispondenza di un periodo relativamente piovoso, infatti, si è osservato un progressivo abbassamento dei valori di conducibilità della rete idrografica superficiale e, di conseguenza, un miglioramento della qualità dell'acqua a fini irrigui.

17.6.2. Area di studio meridionale

Benché non tutta l'area meridionale sia interessata dalla contaminazione, è emersa una situazione decisamente critica e particolarmente preoccupante nelle sue aree centro-meridionali, dove il tetto dell'interfaccia acqua dolce-acqua salata è prossimo al piano campagna e lo spessore dell'acqua dolce è frequentemente ridotto a circa 1 m.

In generale, si è appurato che l'evoluzione spaziotemporale della contaminazione risente di diversi fattori, quali i prelievi/rilasci d'acqua dolce, le condizioni meteorologiche e l'attività delle idrovore. Giocano altresì un ruolo non trascurabile nella dinamica del processo le dispersioni dell'acqua di marea che risale le foci dei fiumi e dei canali, nonché il contributo delle numerose strutture geologiche e geomorfologiche subsuperficiali che, se in alcuni casi sono delle riserve di acqua dolce, in altri dirigono i flussi salati dalla laguna al bacino scolante.

Non va dimenticato inoltre che, ad aggravare il pro-

blema, vi sono gravi fenomeni di subsidenza per lo più ascrivibili all'ossidazione dei terreni organici superficiali, particolarmente abbondanti in quest'area di bonifica, ma in parte anche dovuti a processi neotettonici e di consolidazione naturale residua (CARBOGNIN & TOSI, 2003; BRAMBATI *et al.*, 2003).

L'intrusione salina può essere considerata una tipologia di inquinamento delle falde; il suo contenimento, mitigazione e bonifica risultano problematici. È stato verificato che i rilasci irrigui, effettuati nel periodo estivo, diluiscono il tenore salino, mentre gli eccessivi abbassamenti del livello freatico in primavera-inverno, imposti per evitare il rischio di alluvionamenti, inducono il richiamo delle acque saline verso i terreni coltivati.

17.7. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

L'analisi congiunta delle indagini ha fornito una visione globale del processo di contaminazione salina in atto. La visualizzazione del fenomeno è stata eseguita per mezzo di sezioni interpretative e di mappe che forniscono la giacitura del tetto e del letto dell'acqua salata/salmastra. La mappa del tetto rappresenta la profondità a cui compare la prima falda salata, ovvero l'interfaccia acqua dolce/acqua salata e, approssimativamente, lo spessore dell'acqua dolce sovrastante, se si esclude il primo sottile livello insaturo. Dato che, come si è visto nelle indagini dirette in sito e nell'elaborazione dei parametri monitorati, la profondità a cui si rinviene l'interfaccia acqua dolce/acqua salata varia con le diverse condizioni idrauliche e meteorologiche, la sua mappatura risulta essere una rappresentazione mediata dello sviluppo del processo. In particolare, le variazioni sono più sensibili nell'intervallo di profondità 0-10 m.

L'intenso sfruttamento agricolo e turistico del territorio comporta un incremento dei prelievi di acqua dal sottosuolo e favorisce il processo di contaminazione salina degli acquiferi costieri, con conseguente deterioramento della loro qualità.

Le analisi chimiche e isotopiche delle acque hanno permesso di confermare i risultati delle indagini geofisiche contribuendo alla valutazione dell'estensione del fenomeno e delle sue modalità di diffusione e alla determinazione dell'effettiva origine delle acque. Acque di origine marina e lagunare sono responsabili della salinizzazione delle falde acquifere superficiali, come indicato dal progressivo incremento del tenore salino e dall'arricchimento dei valori isotopici di ossigeno-18 e deuterio in prossimità della fascia costiera. La risalita di acqua marina lungo l'alveo dei fiumi e la presenza di paleoalvei e paleocanali lagunari, vettori preferenziali di trasporto della contaminazione salina verso l'entroterra in virtù della loro elevata conducibilità idraulica, contribuiscono efficacemente al processo di salinizzazione, in particolare in concomitanza con periodi di magra dei fiumi e di elevati livelli di marea, quando il fenomeno non è efficacemente contrastato dal deflusso delle acque continentali.

Le analisi isotopiche, d'altra parte, confermano l'evoluzione chimica delle acque da termini prettamente continentali verso l'entroterra ad acque salmastre lungo la costa: si distinguono acque alpine, soggette a ricarica sotterranea, acque freatiche superficiali, influenzate dal corso dei fiumi e delle precipitazioni, e acque di mescolamento che tendono a indirizzarsi verso valori tipicamente marini e lagunari.

17.7.1. Area di studio settentrionale

La carta di delimitazione della contaminazione salina superficiale, ottenuta incrociando i dati di conducibilità elettrica con quelli di resistività, individua tre zone che, nell'immediato sottosuolo, a seconda dei valori determinati, sono dette a elevata salinizzazione, bassa salinizzazione o di transizione (Fig. 17.14).

Nel primo caso, l'elettrostrato conduttivo sub-superficiale presenta valori di resistività inferiori ai 3 ohm·m, caratteristici di falde freatiche a elevato tenore salino, e spessori medi di 25-30 m. È responsabile della creazione di condizioni ambientali estremamente critiche per la coltivazione di numerosi prodotti agricoli. Il tetto dell'interfaccia acqua dolce/acqua salata si trova in media a 2 m di profondità dal piano campagna, ma può spingersi quasi ad affiorare in superficie, come nei pressi della località Salsi (nel settore centrale, tra i corsi dei fiumi Piave e Sile), o approfondirsi fino a 8 m, come nel settore costiero, dove la presenza di acqua dolce all'interno delle dune è in grado di contrastare l'ingressione marina. Nel sotto-settore settentrionale, la zona a elevata criticità è circoscritta all'estensione del paleocanale lagunare in grado di eludere la barriera idraulica del Sile. Il letto della contaminazione salina si trova in genere a profondità variabili tra 15 e 35 m, a seconda della variabilità litologica riscontrata nel sottosuolo e all'alternanza di livelli permeabili e impermeabili.

Le zone a bassa salinizzazione coincidono o con la progressiva scomparsa o con l'approfondimento dell'elettrostrato a bassa resistività. In sinistra idrografica del Sile all'aumentare della distanza dal margine lagunare l'elettrostrato conduttivo viene sostituito da elettrostrati a resistività maggiore (anche superiore a 100 ohm·m), indicando la sostituzione, nei livelli freatici del sottosuolo, di acque a elevato tenore salino con acque dolci di tipo continentale. Nel settore litoraneo, invece, le riserve di acqua a basso tenore salino ospitate nelle dune sabbiose presentano valori di resistività tra 15 e 50 ohm·m (tipici di acque dolci) e spessori pari a 2-8 m, tipici di aree a basso grado di salinizzazione all'interno di settori fortemente contaminati. In prossimità del Sile, invece, valori di EC inferiori a 1 mS/cm permettono di circoscrivere ulteriori zone non particolarmente soggette a fenomeni di contaminazione.

La zona di transizione, infine, mostra in superficie un altro conduttore superficiale, caratterizzato da valori di resistività compresi tra 3,1 e 15 ohm·m, attribuiti alla presenza sia di terreni argillosi sia di terreni limoso-

sabbiosi imbibiti di acqua salmastra, che si trovano nelle aree bonificate comprese tra gli abitati di Portograndi e San Donà di Piave.

L'approccio multidisciplinare utilizzato ha permesso di migliorare la conoscenza delle condizioni di contaminazione salina all'interno del territorio e di valutare l'estensione del fenomeno e delle sue modalità di diffusione. In particolare, si è potuto osservare come il fiume Piave sia in grado di influenzare il processo di salinizzazione delle falde superficiali mentre il fiume Sile ha un effetto mitigante nella migrazione di acque a elevato tenore salino dal margine lagunare nord-occidentale verso l'entroterra. È stato possibile realizzare una mappa della salinizzazione dell'area e discriminare la presenza di un elettrostrato conduttivo profondo, riconducibile a terreni con acque a elevato tenore salino di origine fossile. Infine, nel litorale le dune costituiscono una riserva d'acqua a basso tenore salino; paleoalvei e paleocanali lagunari fungono da vettori preferenziali di trasporto delle acque salate, mentre precipitazioni locali e maree hanno una certa influenza nei processi di contaminazione della rete idrografica superficiale e delle falde freatiche.

Le analisi geochimiche e isotopiche confermano l'esistenza del fenomeno di intrusione salina proveniente da mare e da laguna e, in particolare, evidenziano il diverso ruolo esercitato dai fiumi Piave e Sile. Il primo, di origine alpina, soggetto a risalita di acqua marina lungo il suo alveo, disperde efficacemente acque ad alto tenore salino negli acquiferi superficiali, come confermato, per esempio, dalla progressiva diminuzione del tenore in cloruri nelle acque sotterranee da valori superiori a 10.000 mg/l in prossimità del Piave a valori inferiori a 50 mg/l in corrispondenza del fiume Sile, lungo una direttrice E-O (Fig. 17.17). Il fiume Sile, invece, è in grado di contrastare efficacemente la risalita del cuneo salino alla foce e di disperdere acque dolci nel territorio circostante, eccetto in presenza di antichi percorsi fluviali e lagunari: in genere, le acque di falda prelevate nelle immediate vicinanze del fiume di risorgiva (P5-P9) presentano bassi tenori in cloruri (< 50 mg/l). Lungo la fascia costiera, infine, serbatoi naturali di acqua dolce (Cl < 50 mg/l) si rinvenivano solamente all'interno delle dune costiere, come già evidenziato dai profili geofisici.

17.7.2. Area di studio meridionale

La mappa del tetto della contaminazione salina (Fig. 17.18) è stata suddivisa in 6 classi di profondità equidistribuite da 0 a 30 m. Le aree che appartengono alla prima classe (0-5 m) sono quelle decisamente critiche, poiché in tal caso la contaminazione salina può coinvolgere direttamente i terreni coltivati. Le aree della seconda classe (5-10 m) sono ad alto rischio, in quanto stagionalmente soggette a variazioni che possono far risalire il livello dell'acqua salata. Le aree ricadenti nelle rimanenti classi, pur sensibili alle variazioni stagionali dell'interfaccia, sono a rischio via via decrescente.

Anche per il letto della contaminazione salina, benché di secondaria importanza in relazione all'uso agricolo dei suoli, è stata eseguita un'analoga mappatura. Tale mappa è rappresentativa della profondità alla quale avviene il passaggio da litotipi a bassissima permeabilità (*aquitard*), che fungono da "barriera" alla propagazione in profondità dell'acqua salata, agli acquiferi dolci sottostanti. La morfologia del letto dipende principalmente dallo sviluppo degli orizzonti argillosi, dalla loro permeabilità, nonché dal loro spessore e continuità. Si ricorda che raramente sono stati individuati livelli impermeabili con ampia continuità spaziale, a causa della complessa storia geologica di queste aree. Per quanto riguarda la base della contaminazione salina, questa si approfondisce procedendo da nord verso sud, partendo da una profondità media di 15-30 m fino ad arrivare a 60-75 m (Fig. 17.19). Sono state individuate zone locali a profondità maggiore, ovvero fino a 90, 100 e 170 m.

In generale il settore litoraneo e quello di entroterra presentano entità e modalità di propagazione della contaminazione salina differenti. Nella fascia litoranea, costituita principalmente da sabbie di dune eoliche e di antichi cordoni litoranei, risiede una lente di acqua dolce di 5-10 m di spessore che contrasta la risalita dell'acqua salata. Al di sotto, la contaminazione salina è generalmente presente fino a 60-70 m (primo/secondo acquifero del sistema multifalde artesiane) e, per le acque fossili, oltre i 200-300 m. Nell'entroterra, invece, lo spessore dell'acqua dolce nella falda freatica è frequentemente ridotto fino a valori minori di 1-2 m, a causa dell'altimetria critica

del territorio, del mantenimento del franco di bonifica a opera degli impianti idrovori e della dispersione dell'acqua di marea da fiumi e canali. Più in dettaglio, nella zona prossima alla laguna si sono rilevati forti variazioni della profondità del tetto del cuneo salino, che, da circa 5 m, si riduce fino a pochi decimetri; nella zona più meridionale di indagine, a ridosso del fiume Adige, l'acqua salata si riscontra a profondità inferiori a 15 m; in quella più occidentale (provincia di Padova) è stata individuata una significativa area contaminata, che si ipotizza possa essere stata richiamata a pochi metri dal piano campagna da emungimenti di acqua dolce dalla falda freatica, in corrispondenza a un alto morfologico di origine fluviale. Il settore meno sensibile al problema della contaminazione salina è quello più settentrionale, tra i fiumi Brenta e Bacchiglione, ove, a eccezione di una ristretta fascia a ridosso del margine lagunare, non è presente acqua salata.

Da un punto di vista geochimico, la presenza di corsi d'acqua (Brenta e Bacchiglione) e di un sistema di drenaggio/irrigazione pensili sul territorio circostante, dotati di un carico idraulico superiore a quello della laguna, consente un continuo apporto di acqua dolce in grado di rinnovare le acque sotterranee superficiali e di contrastare la contaminazione salina diffusa nelle zone subsidenti. Un elevato tenore in cloruri si registra lungo la fascia costiera, mentre nell'entroterra, al di sotto della lente di acqua dolce superficiale creatasi per infiltrazione di acque meteoriche o per dispersione da fiumi e canali, si riscontra l'esistenza nel sottosuolo di acque salmastre di mescolamento.

INTRUSIONE SALINA E TUTELA DELLA RISORSA IDRICA*

Vincenzo Bixio - Università di Padova

Dipartimento di Ingegneria Idraulica, Marittima, Ambientale e Geotecnica

La tutela della risorsa idrica implica nella fascia costiera la soluzione del problema divenuto particolarmente rilevante della penetrazione della salinità.

Attualmente nel Veneto la penetrazione del cuneo salino interessa la fascia litoranea per una profondità dalla linea di costa che può assumere valori rilevanti.

Il fenomeno della penetrazione d'acqua salmastra nei fiumi può determinare seri problemi per l'irrigazione, dati i sensibili danni che un elevato contenuto salino dell'acqua può arrecare alle colture, riducendo di conseguenza la produttività e la gamma delle scelte colturali. Inoltre, la penetrazione del cuneo salino può contribuire, a seconda delle caratteristiche di permeabilità di alvei e argini, alla salinizzazione delle falde freatiche, determinando l'estensione di tale fenomeno, generalmente confinato alle zone costiere, anche alle aree più lontane dalla linea di costa, con conseguenti difficoltà di utilizzo delle acque di falda.

La filtrazione di acqua salmastra attraverso gli argini e gli alvei dei fiumi determina altresì l'inaridimento dei terreni, modificando i locali ecosistemi; la vegetazione alofila, resistente alla salinità, va di conseguenza espandendosi lungo le aste fluviali, sostituendo le forme vegetali autoctone, e ambienti tipici scompaiono lasciando posto a zone a vegetazione atipica.

Per contrastare il fenomeno della risalita del cuneo salino si possono adottare due diversi approcci; il primo consiste nel garantire una portata fluviale sufficiente a respingere l'acqua salata verso il mare, il secondo prevede invece la realizzazione di opere nei pressi delle foci.

Per quanto riguarda il primo dei suddetti indirizzi, occorre intervenire sulla regolazione idrica del bacino idrografico, calibrando opportunamente i prelievi e i rilasci d'acqua.

Per quanto concerne invece le opere da realizzare nei pressi delle foci, queste possono consistere essenzialmente in sbarramenti antisale non superabili dal cuneo salino o in risagomature dell'alveo finalizzate alla riduzione della sezione del corso d'acqua e quindi a un aumento delle locali velocità di flusso, tali da respingere verso mare il cuneo stesso.

Dispositivi per la riduzione della penetrazione del cuneo salino sono stati messi a punto da tempo dai consorzi di bonifica prevalentemente con l'utilizzo di porte vinciane, ma nel corso degli ultimi anni gli studi in tale direzione sono stati estesi e hanno portato alla realizzazione di traverse mobili, di traverse flessibili e di barriere mobili.

* Estratto da: "La nuova bonifica nel Veneto: dal Consorzio Dese Sile al Consorzio Acque Risorgive".

INTRUSIONE SALINA TRA LIVENZA E PIAVE

Andrea Pilli - Università Ca' Foscari di Venezia

Il tema della contaminazione salina negli acquiferi della fascia costiera della provincia di Venezia è stato oggetto negli ultimi anni di studi a carattere idrogeologico sviluppati nell'ambito di tesi di laurea e dottorati di ricerca promossi dal compianto Prof. G.M. Zuppi del Dipartimento di Scienze Ambientali dell'Università Ca' Foscari di Venezia. Tali lavori, finalizzati da un lato a identificare la distribuzione ed entità del fenomeno e dall'altro a riconoscere i principali fattori naturali e antropici che ne condizionano l'evoluzione, hanno interessato sia la porzione meridionale della provincia sia l'area compresa tra il margine lagunare settentrionale e il fiume Piave. Riprendendo tale filone di indagine, è stata recentemente avviata una nuova tesi di laurea magistrale (laureanda Ilaria Bighin, relatore Andrea Pilli, correlatori Valentina Bassan e Andrea Mazzucato) in collaborazione con il Servizio Geologico della Provincia di Venezia, riguardante l'area di pianura costiera compresa tra i fiumi Piave e Livenza, non indagata da precedenti lavori.

L'indagine, che copre la stagione primaverile 2011, è incentrata sull'acquisizione di misure di conducibilità elettrica (sei campagne di misura con frequenza

quindicinale) e misure freatiche da piezometri, finestrati sull'acquifero freatico, recentemente realizzati dalla Provincia di Venezia nei comuni di Ceggia, Torre di Mosto ed Eraclea.

Considerata la relazione tra salinità delle falde e dispersioni dei corsi d'acqua più volte evidenziata nei precedenti studi, la campagna di indagine è integrata da misure di conducibilità elettrica in sette stazioni della rete idrografica naturale e di bonifica (Fig. 17.21 - Canale Casaratella, Fiume Livenza, Canale Brian - Il Taglio Loc. Boccafossa, Canale Brian - Il Taglio Loc. Stretti, Canale Collettore e Fiume Piave).

Al termine del lavoro sperimentale, riprendendo metodologie e approcci messi a punto negli studi pregressi, il fenomeno dell'intrusione salina è stato analizzato interpretando i dati in relazione all'assetto paleoidrografico, ritenuto elemento in grado di condizionare, mediante direttrici preferenziali, il movimento delle acque sotterranee dell'area.

I risultati dello studio saranno infine resi disponibili nel sito web della Provincia di Venezia e la tesi di laurea sarà consultabile presso l'Università di Venezia.

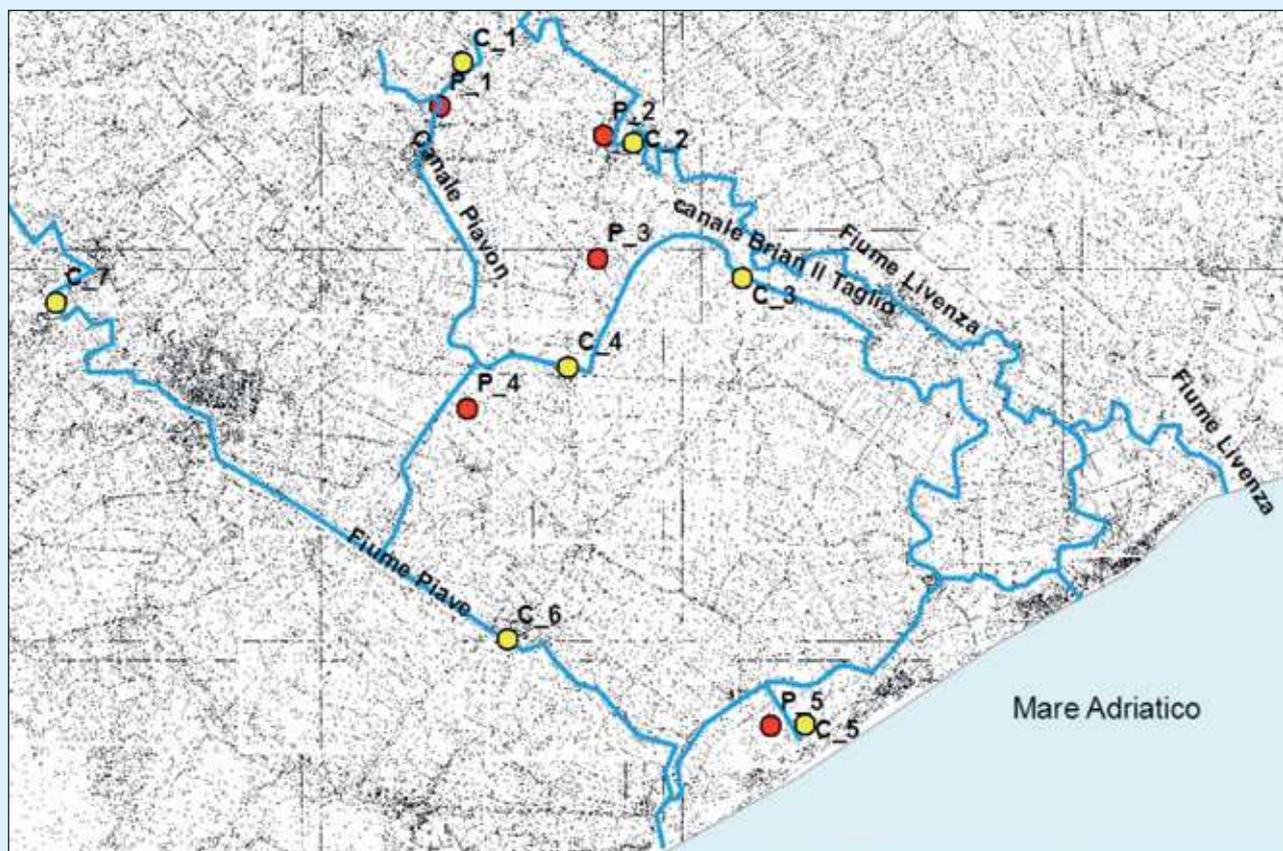


Fig. 17.21 - Stazioni di campionamento (P: piezometri; C: corsi d'acqua).

L'UTILIZZO DI SPECIE ITTICHE BENTONICHE COME BIOINDICATORI DELL'INTRUSIONE DEL CUNEO SALINO

Enrico Marconato - Aquaprogram s.r.l., Vicenza

Le acque interne della provincia di Venezia comprendono un'elevata varietà di ambienti, molto diversificati dal punto di vista morfologico, dimensionale, idraulico, chimico ecc.; per ciò che riguarda le acque correnti, il fattore pendenza e la correlata velocità media di corrente sono i parametri che principalmente determinano la tipologia ambientale dominante del corso d'acqua.

Nel suo approssimarsi al mare anche l'aspetto chimico assume una forte importanza, soprattutto in relazione al parametro salinità; infatti, in dipendenza delle fluttuazioni di marea e della portata del corso d'acqua, lunghi tratti di fiume prima dello sbocco a mare sono interessati da valori di salinità talvolta molto elevati, causati dalla risalita del "cuneo salino".

Nel delta del Po, ad esempio, nelle zone profonde dei vari rami in cui si divide il fiume prima di sfociare in mare vi sono condizioni di salinità equiparabili a quelle marine (MARCONATO E. *et al.*, 2005).

La provincia di Venezia è rappresentata da una lunga fascia di territorio, addossata alla linea di costa, compresa tra le foci dei fiumi Tagliamento e Adige. Quest'area è caratterizzata da pendenze estremamente ridotte e ampie zone del territorio provinciale si trovano al di sotto del livello del mare (DAL PRÀ A. *et al.*, 2001)²⁰.

La colonizzazione umana di questi territori è stata resa possibile nel corso dei secoli grazie a una imponente opera di bonifica che utilizza una diffusa rete di canali di drenaggio, associata a un efficiente sistema di sollevamento meccanico delle acque²¹.

Altra particolarità è la presenza di un'estesa area lagunare, con condizioni di salinità variabili ma comunque intermedie tra quelle di acqua dolce e quelle marine, che per lungo tratto separa il territorio provinciale dalla linea di costa vera e propria.

Per i sopra citati motivi, il fattore salinità può interessare tratti anche piuttosto lunghi dei tratti terminali dei corsi d'acqua che attraversano la provincia.

In seguito all'elaborazione dei dati relativi ai campionamenti eseguiti in provincia di Venezia per la stesura della Carta Ittica Provinciale (MARCONATO E. *et al.*, 2000), è stato possibile ricostruire i vari areali di distribuzione delle specie ittiche presenti nel reticolo idrografico provinciale.

Tra i dati raccolti, molto interessante è apparsa la distribuzione geografica di due piccole specie

bentoniche d'acqua dolce, il cobite comune (*Cobitis taenia*) e il ghiozzo padano (*Padogobius martensii*), pesci comuni nell'areale padano (GANDOLFI *et al.*, 1991; MARCONATO A. *et al.*, 1985).

In particolare si è notato che queste due specie tendono a ridurre la loro abbondanza, fino a scomparire completamente, man mano che ci si avvicina alle zone di foce dei fiumi.

In concomitanza con la scomparsa delle due sopra citate specie, si osserva al contrario la presenza di un'altra specie bentonica, il ghiozzetto di laguna (*Knipowitschia panizzae*); questo piccolo pesce popola le acque salmastre della laguna di Venezia e solo con i campionamenti effettuati nell'indagine citata è stato possibile ricostruirne la distribuzione anche nei tratti terminali dei fiumi.

Nella realizzazione della Carta ittica della provincia di Venezia sono state campionate 140 stazioni omogeneamente distribuite nel reticolo idrografico provinciale.

Nelle stesse stazioni in cui sono stati eseguiti i campionamenti ittici sono stati rilevati numerosi parametri ambientali tra cui la conducibilità dell'acqua; tale parametro è correlato alla salinità, e il suo valore aumenta in modo proporzionale all'incremento del contenuto di sali disciolti nel mezzo liquido.

Sulla base dei risultati dei campionamenti ittici effettuati, come anticipato, è stato possibile ricostruire graficamente l'areale di distribuzione del ghiozzo padano, del cobite comune e del ghiozzetto di laguna nel reticolo idrografico della provincia di Venezia. L'areale di distribuzione delle due specie dulciacquicole è completamente sovrapponibile, per cui per semplicità in Fig. 17.22 è presentato solo quello relativo al ghiozzo padano.

La stessa operazione è stata eseguita per le popolazioni di ghiozzetto di laguna; in questo modo è stato possibile determinare l'areale di distribuzione di questa specie all'interno del reticolo idrografico provinciale; i dati ottenuti sono stati riportati in Fig. 17.23.

Da un confronto tra le due immagini si può notare che solo in alcune aree piuttosto ristrette (ad esempio alcuni tratti terminali dei fiumi Brenta e Bacchiglione, nell'area meridionale della provincia) sia il ghiozzo padano che il ghiozzetto di laguna

²⁰ Vedi anche il capitolo 1 "Microrilievo".

²¹ Vedi anche il capitolo 4 "Idrografia e bonifica idraulica".

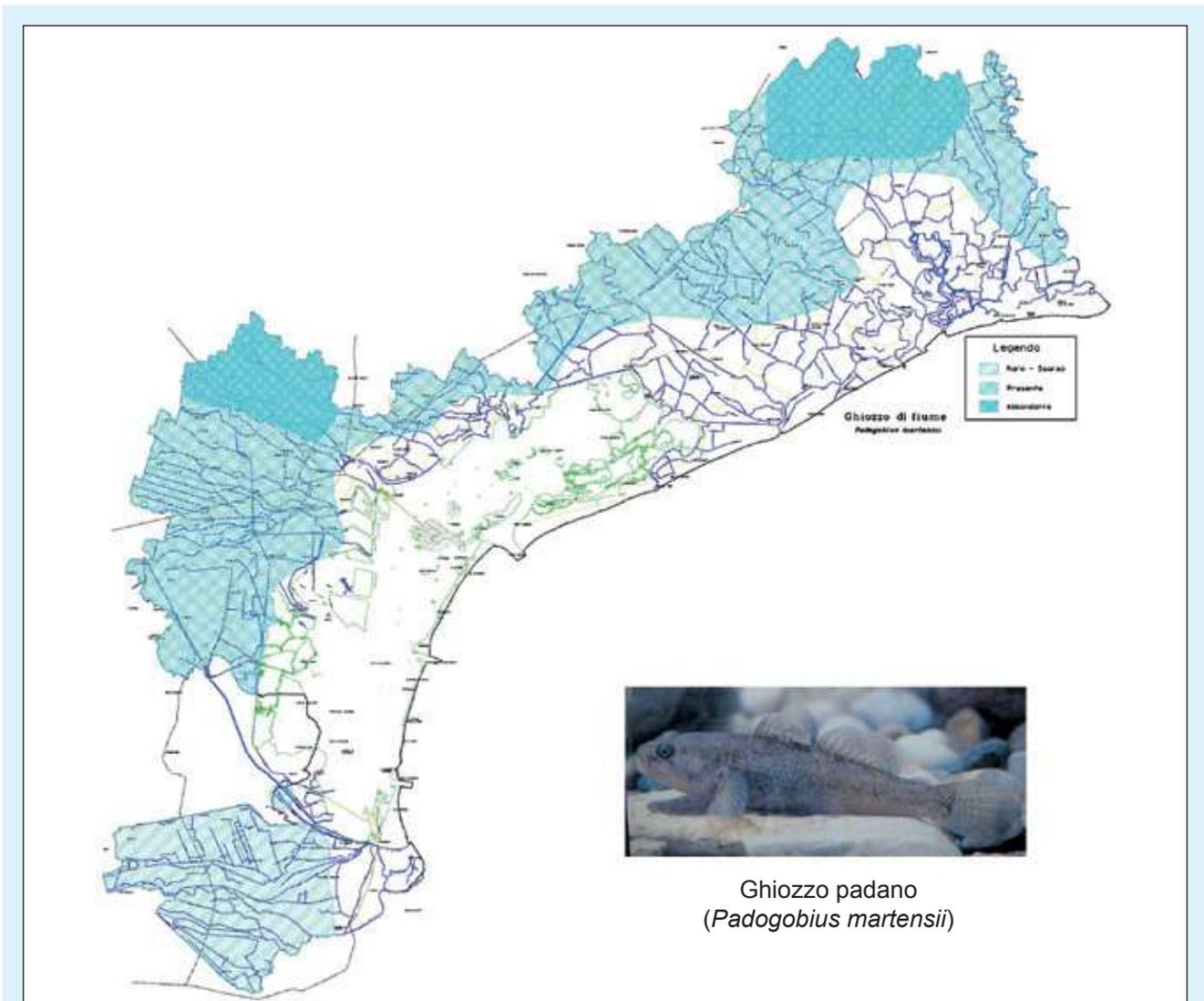


Fig. 17.22 - Areale di distribuzione del ghiozzo padano in provincia di Venezia.

sono entrambi presenti, pur a densità ridotta; di norma, comunque, le due specie sembrano colonizzare aree adiacenti e quasi mai sovrapposte.

Perciò, mentre la presenza delle due specie dulciacquicole tende a ridursi fino a scomparire procedendo man mano verso la foce, da un certo punto a valle la presenza del ghiozzetto di laguna tende ad aumentare.

I risultati delle osservazioni effettuate evidenziano e confermano che il ghiozzo padano e il cobite comune sembrano comportarsi come specie relativamente "stenoaline", ovvero non in grado di tollerare variazioni di salinità (GANDOLFI G. *et al.*, 1991). Il fatto poi che siano specie bentoniche e con scarse capacità natatorie impedisce che le stesse siano in grado di spostarsi velocemente lungo l'asse longitudinale del fiume in concomitanza con l'aumentare della salinità dovuta alla risalita del cuneo salino, per sfuggire delle condizioni ambientali inidonee.

Da questo punto di vista, quindi, entrambe le due specie considerate possono fungere da veri e propri

"bioindicatori" delle condizioni di salinità che si possono presentare nel corso d'acqua.

Al contrario, il ghiozzetto di laguna è certamente più frequente nelle acque con un certo tenore di salinità, ma è presente pure in ambienti praticamente dulciacquicoli, evidenziando un notevole grado di eurialinità (capacità di adattarsi a varie condizioni di salinità dell'acqua); ciò è d'altra parte ben conosciuto, dal momento che questo gobide si è dimostrato in grado di costituire delle popolazioni naturali anche in ambienti d'acqua dolce come il lago Trasimeno (BORRONI, 1976)

A conferma di questa sua capacità, si sono rinvenute delle popolazioni localizzate di ghiozzetto di laguna in canali di bonifica che raramente vengono interessati da acque salmastre.

Per questo motivo, se il parametro salinità appare essere determinante nel definire verso valle la presenza delle due citate specie stenoaline, presumibilmente potrebbe essere legato anche ad altri fattori il limite massimo di distribuzione del ghioz-

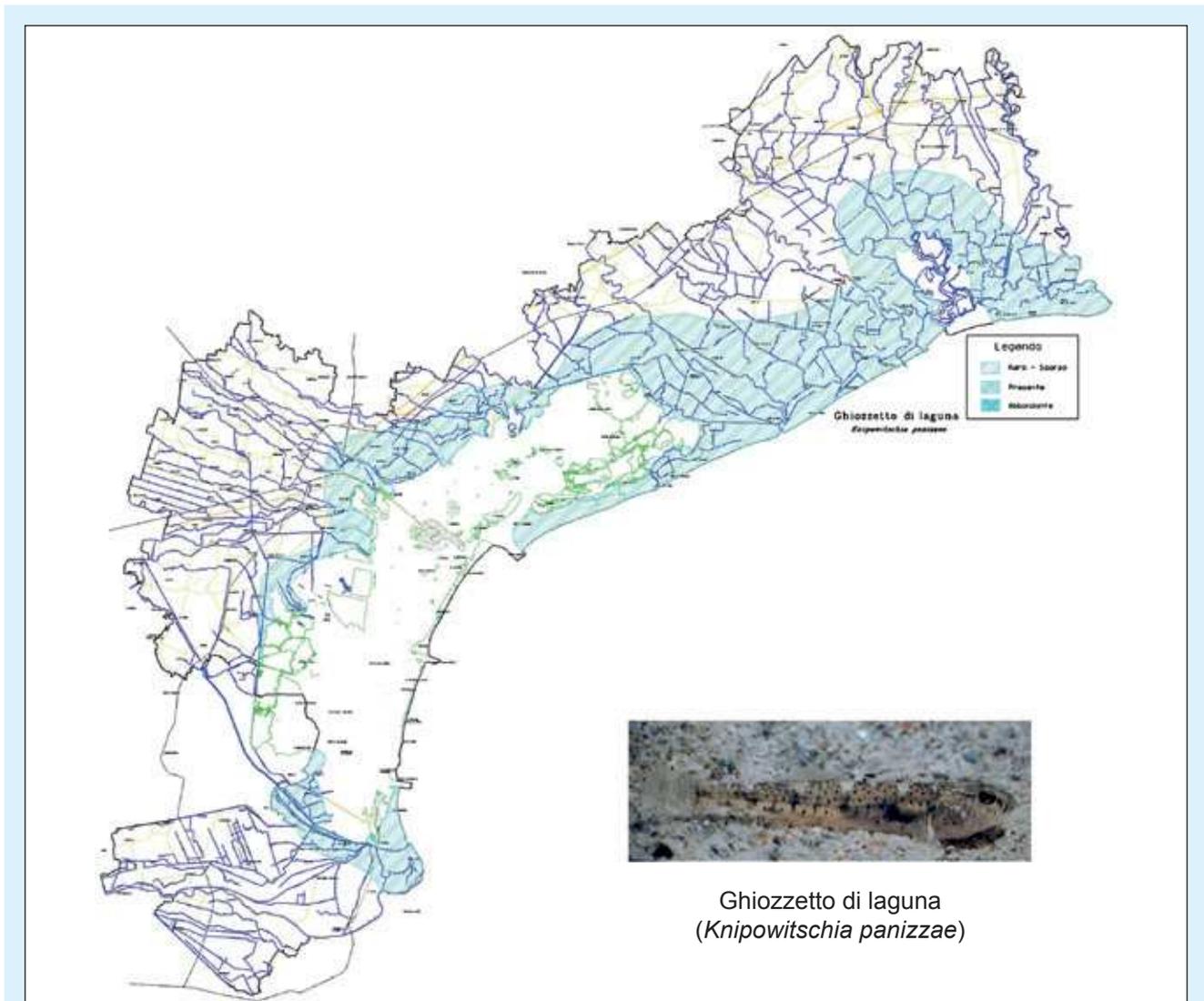


Fig. 17.23 - Areale di distribuzione del ghiozzetto di laguna in provincia di Venezia.

zetto di laguna verso monte, come per esempio il tipo di substrato presente e/o eventuali problemi di competizione spaziale o alimentare con il ghiozzo padano.

Una buona conferma delle osservazioni sopra riportate è stata fornita da un lavoro sviluppato dall'ARPA del Veneto, che nel corso del 2004 ha promosso delle attività di indagine per valutare la risalita del cuneo salino in vari importanti corpi idrici regionali, in particolare del bacino scolante della laguna di Venezia e del delta del Po.

In Fig. 17.24 sono riportati i punti di massima risalita del cuneo salino, misurati in condizioni di massima di marea e minima portata dei fiumi.

La linea che ipoteticamente congiunge i punti di massima risalita del cuneo salino così misurati si sovrappone piuttosto bene a quella della distribuzione delle due specie di pesci bentonici.

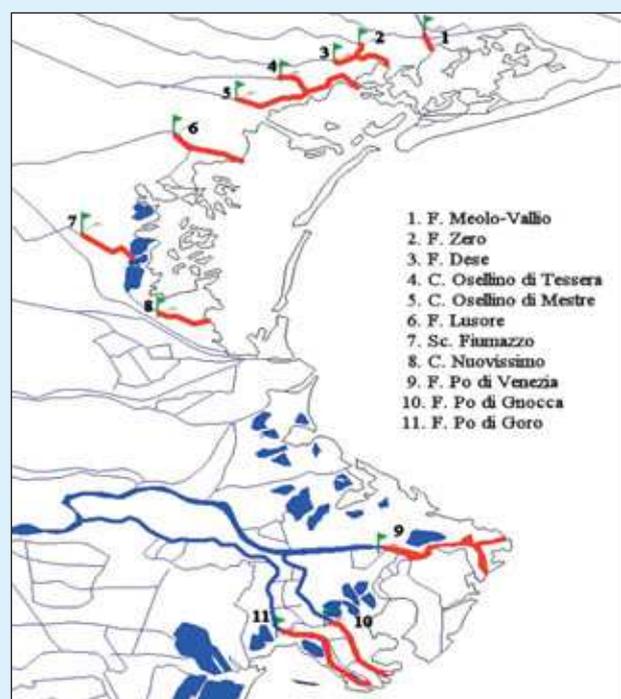


Fig. 17.24 - Punti di massima risalita del cuneo salino in alcuni corsi d'acqua del Veneto.

18 RISCHIO IDRAULICO

CHIARA FASTELLI¹, ANDREA DE GÖTZEN², ANDREA VITTURI³

18.1. GENERALITÀ

In questo capitolo viene trattato il tema del rischio idraulico, distinguendolo se collegato alla rete idrografica principale o a quella minore o alle reti di drenaggio urbane.

Nella Tav. 16, in scala 1:100.000, il rischio idraulico viene considerato assieme al rischio da mareggiata; quest'ultimo rischio viene descritto nel successivo capitolo 19.

Si richiama anche quanto scritto nel capitolo 4 "Idrografia e bonifica idraulica" con la relativa cartografia di Tav. 5.

Complessivamente tutto il territorio provinciale è a elevato rischio idraulico sia in quanto interessato dalla parte terminale dei maggiori fiumi italiani che per la situazione altimetrica, che lo vede in gran parte soggiacente al livello del medio mare, e quindi in gran parte assoggettato alla bonifica idraulica.

Ai fini della determinazione del rischio idraulico è preliminare l'individuazione della pericolosità associata all'altezza della lama d'acqua (h) che l'evento esondativo produce nel territorio indagato.

Come indicato nel sito della Protezione Civile italiana⁴, col termine di "rischio"⁵ s'intende l'insieme di tre altri valori, e cioè la pericolosità, la vulnerabilità e il valore esposto:

rischio = pericolosità x vulnerabilità x valore

La **pericolosità** esprime la probabilità che in una zona si verifichi un evento dannoso di una determinata intensità entro un determinato periodo di tempo (che può essere il "tempo di ritorno" - Tr). La pericolosità è dunque funzione della frequenza dell'evento. In certi casi (come per le alluvioni) è possibile stimare, con un'approssimazione accettabile, la probabilità di accadimento per un determinato evento entro il periodo di ritorno.

La **vulnerabilità** invece indica l'attitudine di una determinata "componente ambientale" (popolazione, edifici, servizi, infrastrutture ecc.) a sopportare gli effetti in funzione dell'intensità dell'evento. La vulnerabilità esprime il grado di perdite di un dato elemento o di una serie di elementi risultante dal verificarsi di un fenomeno di una data "magnitudo", espressa in una scala da zero (nessun danno) a uno (distruzione totale).

Il **valore esposto** o **esposizione** indica l'elemento che deve sopportare l'evento e può essere espresso o dal numero di presenze umane o dal valore delle risorse naturali ed economiche presenti, esposte a un determinato pericolo.

Il **prodotto vulnerabilità per valore** indica quindi le

conseguenze derivanti all'uomo, in termini sia di perdite di vite umane che di danni materiali agli edifici, alle infrastrutture e al sistema produttivo.

Il **rischio** esprime dunque il numero atteso di perdite di vite umane, di feriti, di danni a proprietà, di distruzione di attività economiche o di risorse naturali, dovuti a un particolare evento dannoso; in altre parole *il rischio è il prodotto della probabilità di accadimento di un evento per le dimensioni del danno atteso.*

Un'ulteriore premessa riguarda la situazione idraulica del territorio provinciale (grandi fiumi da una parte, rete idrografica minore e reti di drenaggio urbano dall'altra); per le frequenze e le conseguenze attese a seguito di eventi esondativi essa va necessariamente affrontata in maniera distinta.

Le inondazioni causate dalle piene dei grandi fiumi sono legate alla possibilità che si verifichino rotture e/o tracimazioni in corrispondenza degli argini; questi eventi, pur verificandosi con una bassa frequenza (tempi di ritorno dell'ordine dei 50 - 100 anni), sono quelli cui di norma è associato un maggior rischio.

Gli allagamenti dovuti alla rete idrografica minore e alle reti di drenaggio urbano sono riconducibili prevalentemente all'eccessiva impermeabilizzazione dei suoli, alla conseguente ridotta disponibilità d'invasi nelle reti fognarie, nonché al mancato adeguamento alle nuove esigenze di trasformazione del territorio delle infrastrutture idrauliche poste a valle delle aree urbane: opere pubbliche di bonifica, quali impianti di sollevamento, canalizzazioni o altri manufatti di regolazione.

Sebbene questi eventi si verifichino con una frequenza ben maggiore rispetto a quelli che interessano la rete idraulica principale, si può stimare che i danni che possono provocare siano di due ordini di grandezza minori rispetto a quelli dovuti ai fiumi principali.

18.2. RISCHIO IDRAULICO DALLA RETE IDROGRAFICA PRINCIPALE

Per i grandi fiumi, così come viene indicato negli strumenti di pianificazione sinora adottati (Progetti di Piano di Assetto Idrogeologico - PPAI) o approvati (Piani

¹ Provincia di Venezia - Servizio Protezione Civile.

² Consorzio di bonifica Veneto Orientale.

³ Provincia di Venezia - Settore Protezione Civile e Difesa del Suolo.

⁴ <http://www.protezionecivile.gov.it/>.

⁵ Le definizioni di rischio, pericolosità e vulnerabilità sono anche trattate nei capitoli 10 "Sismicità" e 19 "Rischio da mareggiata".

di Assetto Idrogeologico - PAI⁶), si prendono in considerazione tre livelli di pericolosità (P1 moderata, P2 media, P3 elevata, P4 molto elevata) in relazione ai corrispondenti livelli di rischio individuati dal DPCM n° 29.09.98.

Tali livelli di pericolosità coincidono, però solo nominalmente, per i vari PPAI.

Per quanto riguarda il **PPAI del Livenza, del Tagliamento, del Piave, del Brenta - Bacchiglione** (la cui Autorità di bacino è nazionale)⁷, è stato infatti assunto quale riferimento esclusivamente l'evento centenario e sono state prese in considerazione altezze di lama d'acqua > 1 m (quota idrometrica massima che si ritiene compatibile con la salvaguardia, l'incolumità e la capacità di movimento di persone e cose). I livelli di pericolosità hanno quindi le seguenti caratteristiche:

- *P4 molto elevata*, all'area fluviale viene associata una pericolosità P3, a eccezione della superficie occupata dalla piena ordinaria alla quale è associata una pericolosità P4.
- *P3 elevata*, fasce contigue agli argini storicamente sede di rotte o che presentano condizione di precaria stabilità, di larghezza orientativa pari a 150 m dall'unghia dell'argine;
- *P2 media*, aree contigue alle precedenti, eventualmente riconosciute come suscettibili di allagamento dalla modellazione idraulica, e fasce contigue agli argini, dove non si sono mai verificate rotte, ma che la modellazione riconosce come critici;
- *P1 moderata*, aree residuali alle aree P2, in quanto storicamente esondate, o alle fasce P2, in quanto segnalate dalla modellazione come suscettibili di un livello idrometrico > 1 m.

I criteri però adottati dalla stessa Autorità di Bacino per la determinazione della pericolosità nel bacino del Livenza sono un po' diversi e si riferiscono sempre a portate centenarie; la relativa classificazione è riportata nella legenda della Tav. 16.

Per quanto riguarda invece il **PAI del Sile - Pianura Veneta tra Piave e Livenza** e i **PPAI del Lemene e del Fissero - Tartaro - Canalbianco** (le cui Autorità di bacino sono regionali o interregionali⁸), grazie all'applicazione di un modello idrologico per la simulazione dell'evento di piena e di un modello matematico per la simulazione della relativa propagazione sono stati individuati, in relazione all'entità delle esondazioni derivanti dall'applicazione del modello, i seguenti tre livelli:

- P3 elevata, Tr = 50 anni, h>1
- P2 media, Tr = 50 anni, 0<h<1
- P1 moderata, Tr = 100 anni, h>0

È stato altresì stabilito che tutto il territorio soggetto a bonifica a scolo meccanico o misto abbia un grado di pericolosità moderata P1.

Fatte queste premesse, sono stati esaminati i PAI/PPAI sinora adottati o approvati (bacini del Tagliamento, Livenza, Piave, Brenta - Bacchiglione, Lemene, Sile - Pianura Veneta tra Livenza e Piave, Adige, Fissero - Tartaro - Canalbianco): i risultati degli studi effettuati, e in particolare le aree di pericolosità in essi

individuati, sono stati, così come suggerito dalle Linee Guida regionali per la predisposizione dei Piani Provinciali di Emergenza, recepiti e riportati nell'alleghata cartografia di Tav. 16.

Giova precisare che l'individuazione e la perimetrazione delle aree a rischio idrogeologico, effettuata nei vari PPAI, è avvenuta, come sopra evidenziato, mediante applicazione di modelli matematici idrologico-idraulici, con algoritmi di calcolo più o meno semplificati, con diverse metodologie di approccio, schematizzazione e trattazione. I risultati, conseguentemente, pur nella loro attendibilità necessiterebbero di una omogeneizzazione a livello elaborativo e di attribuzione delle classi di pericolosità che, auspicabilmente, i singoli Distretti idrografici dovrebbero adottare in un prossimo futuro.

Si deve altresì evidenziare che i limiti amministrativi di bacino non corrispondono, evidentemente, a precisi limiti geografici e pertanto le aree di pericolosità idraulica individuate nei singoli piani spesso vanno a sovrapporsi con quelle derivanti dai bacini limitrofi; si è deciso pertanto, nella cartografia d'insieme che riproduce la pericolosità idraulica dell'intera provincia (Tab. 16), di rappresentare le aree che, a parità di territorio interessato, avessero un grado di pericolosità più elevato.

18.2.1. Eventi storici di piena dei fiumi principali

Molti sono stati gli eventi di piena che hanno alluvionato il territorio provinciale nel corso dei secoli fino ai giorni nostri. Nei paragrafi a seguire è riportato un *excursus* relativo soprattutto agli ultimi duecento anni e suddiviso in base ai fiumi principali.

Sicuramente però l'evento che in epoca moderna ha più colpito il territorio provinciale è l'*alluvione del 4-5 novembre 1966*, sulla quale esiste una vasta letteratura. Le aree interessate, distribuite su tutta la provincia, sono prevalentemente di grande estensione, anche se non mancano zone ristrette.

Nella cartografia di Fig. 18.1, ricavata dai dati forniti dal Magistrato alle Acque di Venezia e ripresa dalla pubblicazione (realizzata per conto della Provincia di Venezia) di LICETO "Indagine sulle possibilità di rischio idraulico nella provincia di Venezia" (1992), le aree allagate sono distinte se avvenute:

- in seguito a rotte o tracimazioni di corsi d'acqua classificati in 2^a o 3^a categoria;

⁶ Di particolare importanza è la recente emanazione del D.Lgs. 23.02.2010, n° 49, concernente l'Attuazione della Direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni. Il provvedimento prevede che le Autorità di Bacino distrettuali stabiliscano, entro il 22 dicembre 2015, il piano di gestione del rischio di alluvioni, sulla base di specifiche mappe della pericolosità e del rischio, da redigersi entro il 22 dicembre 2013, che dovranno considerare anche le "... alluvioni rare di estrema intensità con un tempo di ritorno fino a 500 anni ... (bassa probabilità) ...".

⁷ Ai sensi del D.Lgs. n° 152/2006 i bacini dell'Autorità di bacino nazionale dei fiumi dell'Alto Adriatico sono ora compresi nel Distretto idrografico delle Alpi Orientali.

⁸ Ai sensi del D.Lgs. n° 152/2006 i bacini del Sile e del Lemene sono ora compresi nel Distretto idrografico delle Alpi Orientali.

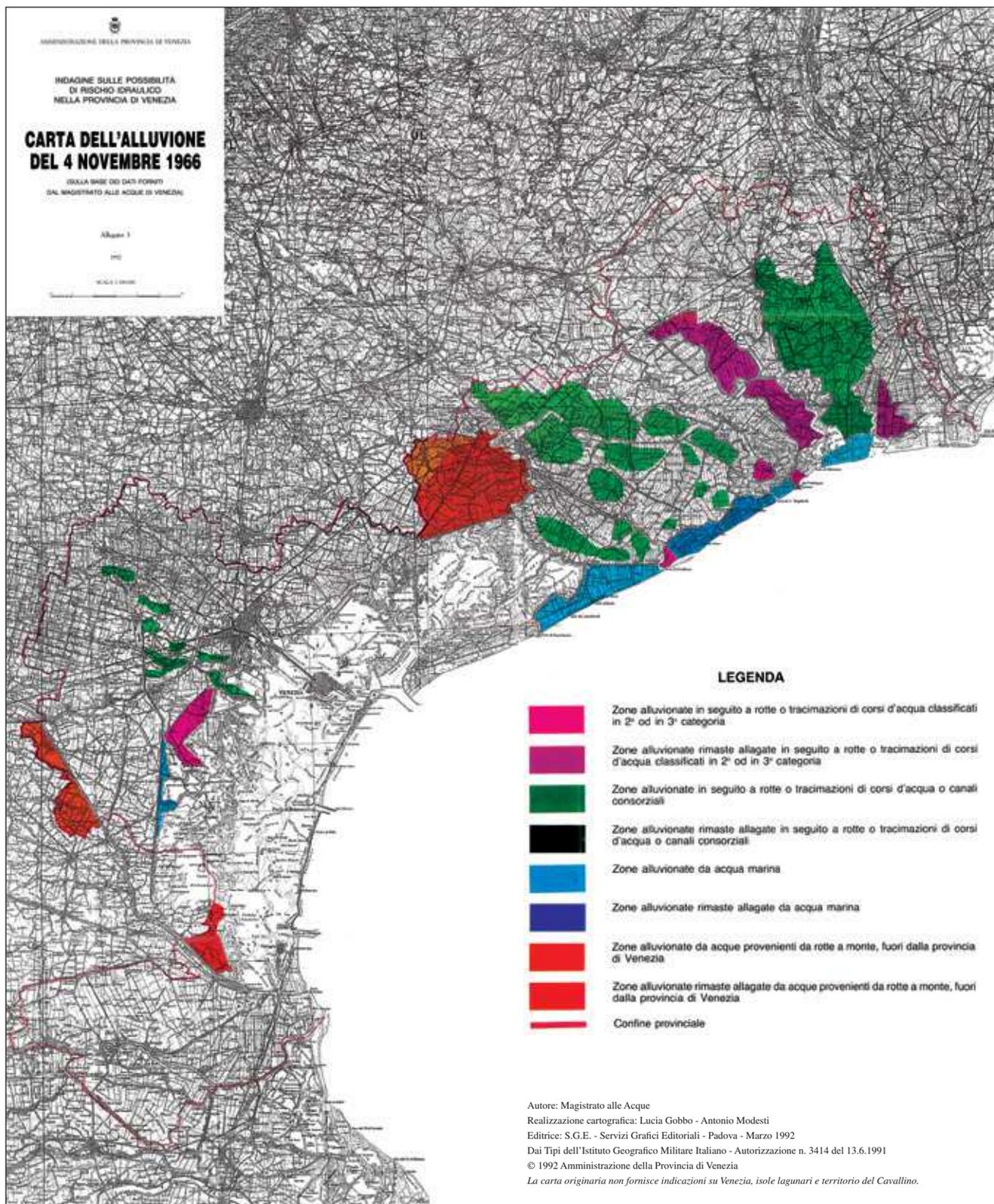


Fig. 18.1 - Zone alluvionate il 4 novembre 1966 sulla base dei dati forniti dal Magistrato alle Acque di Venezia.

- in seguito a rotte o tracimazioni di corsi d'acqua o canali consorziali;
- da acqua marina;
- da acque provenienti da rotte a monte, fuori dalla provincia di Venezia.

Per ciascuna di queste categorie vi è anche la distinzione se si tratta di 'zone alluvionate' o di 'zone

alluvionate rimaste allagate'; precisazione assai importante perché i maggiori inconvenienti si sono avuti nelle aree nelle quali l'allagamento è perdurato anche per molto tempo (fino a oltre un mese).

18.2.1.1. Fiume Tagliamento

Considerando solo il periodo intercorrente dal 1800 a oggi, gli eventi di piena significativi sono stati molto

numerosi nel bacino del Tagliamento e hanno interessato, nella maggior parte dei casi, il tratto montano e di pianura con esondazioni in territorio friulano, interessando però anche la provincia di Venezia.

Il primo evento significativo si verificò nel 1812 con una rotta in località Canussio (UD) che finì col divenire un diversivo di piena naturale. Nel 1813 si ebbe invece una rotta dell'arginatura regia eretta presso Fraforeano, con allagamento di Fraforeano, Ronchis e Latisanotta (UD). Nel 1819 l'arginatura a difesa dell'abitato di Latisana (UD) subì un danneggiamento durante una piena e nel novembre dell'anno successivo collassò sotto l'incombenza di una piena determinando l'allagamento di Latisana e di Ronchis. Nel 1822 si ebbe un'ulteriore rotta a valle di Latisana, in località Masato.

Un nuovo evento di piena di notevole entità fu registrato il 28 ottobre 1823. Le acque, tracimate nel tratto tra San Giorgio della Richinvelda e Casarsa della Delizia, distrussero la strada Casarsa - Codroipo allagando l'abitato di Codroipo (UD). Si verificarono inoltre cinque rotte tra Casarsa e Villanova (in sponda destra) e ben sedici tra Villanova e Cavrato con allagamento del territorio di bassa pianura (in provincia di Venezia) e scarico delle acque attraverso il canale Cavrato. Lo stesso evento provocò inoltre ventisette rotte in sponda sinistra con allagamento tra le località di Belgrado e Pertegada.

Nel 1851 un ulteriore evento di piena causò sei rotte tra le località di Villanova e Biagini. Nel 1882 una piena catastrofica provocò rotte in sinistra con allagamento di Ronchis, Palazzolo, Latisana e Precenico (UD) e in destra, con conseguente allagamento di San Giorgio e di San Michele al Tagliamento.

Le piene degli anni 1889, 1893, 1895 e 1896 furono contenute nelle arginature, grazie anche all'intervento dello Stato che rinforzò le arginature portandole alle condizioni in cui si trovavano fino al 1965. Questo graduale rialzo delle arginature di monte determinò il 'trasferimento' delle condizioni di rischio idraulico da nord verso sud; infatti le inondazioni successive danneggiarono marginalmente il medio e alto bacino e causarono grossi danni nelle aree di bassa pianura.

L'elenco degli eventi di piena del XX secolo si apre con quello del 1920 che, distrutti sessanta metri di arginature presso San Giorgio al Tagliamento, sommerse l'abitato sotto tre metri d'acqua.

Nel 1940 una piena determinò l'allagamento di Venzone (UD), poi non si ebbero più eventi disastrosi sino al 2 settembre 1965, giorno in cui si aprì una rotta presso l'abitato di Latisana (UD) con conseguente sommersione della città.

L'evento più funesto fu comunque quello del 4 novembre 1966.

A Pinzano, alla chiusura del bacino montano, furono registrate portate dell'ordine di 4500 m³/s che, costrette verso valle a defluire in un alveo che a Latisana ha una larghezza di soli 175 m, crearono un rigurgito con rotte e tracimazioni estese. All'idrometro di Latisana, che l'anno precedente aveva registrato il livello record

di m 9,50, fu misurato un livello di m 10,60 (Fig. 18.2) nonostante le tracimazioni di monte e ben quattro rotte a valle, una in sponda destra a Saletto con inondazione di 1831 ha e tre in sponda sinistra a Madrisio, Latisanotta e Latisana che ebbe un'estensione di circa 1 km e provocarono l'inondazione di 21.410 ha (incluse le aree inondate per tracimazione dei corsi d'acqua minori e le aree sommerse dalle acque marine lungo la costa). Nel bacino montano l'irruenza delle acque, causando sconvolgimenti del fondo dell'alveo ed erosioni spondali, provocò danni ingenti alle strutture viarie e a manufatti vari di protezione idraulica. Si verificarono inondazioni ancora una volta a Venzone (per lo straripamento del torrente Venzonassa e la fuoriuscita di acque dal Tagliamento a causa di discontinuità nelle arginature di protezione) e nella valle del Fella presso gli abitati di Tarvisio e Camporosso. Entrò anche in funzione per la prima volta il Cavrato, scolmatore di piena del Tagliamento (Fig. 18.3).

Le aree allagate dal Tagliamento nel 1966 sono rappresentate nella Fig. 18.1.

Nel 1996 si sono verificati due eventi di piena nei mesi di giugno e di novembre con punte della portata di piena che alcune fonti valutano nell'ordine di 3000



Fig. 18.2 - La piena del Tagliamento in corrispondenza del ponte ferroviario tra San Michele al Tagliamento e Latisana nel novembre 1966 (foto Enrico Marchesan).



Fig. 18.3 - Lo scolmatore Cavrato nel novembre 1966 (foto Morando Rolante).

m³/s, i quali hanno dato origine all'entrata in funzione dello scolmatore Cavrato.

Nei mesi di ottobre e novembre 2000 si sono verificate altre piene significative. L'evento del 7 novembre 2000, in particolare, ha fatto registrare a Latisana un livello massimo di 8,84 m s.l.m., e quote idrometriche sostenute lungo tutto il basso corso del Tagliamento e del Cavrato.

Successivamente sono avvenuti altri eventi di piena, che però non hanno alluvionato il territorio provinciale restando confinati all'interno degli argini.

18.2.1.2. Fiume Livenza

Nell'ultimo secolo, l'alluvione di maggior gravità provocata dal Livenza è quella del 4 novembre 1966, che diede luogo a numerosi allagamenti in territori soprattutto al di fuori della provincia di Venezia. Numerose tracimazioni si ebbero infatti a monte della confluenza con il Meduna per il rigurgito provocato dalla notevole portata defluente lungo l'asta del Meduna stesso. Si verificarono tre tracimazioni presso Murlis, mentre a Villanova ce ne furono ben sette. Le considerevoli portate del Meduna, a valle di Pordenone, determinarono rigurgiti del subaffluente Noncello che causò inondazioni in un'estesa area comprendente la parte bassa della città.

Sull'affluente Cellina si verificarono due rotte in sponda destra a valle della strada che congiunge Santa Foca a Vivaro, con inondazione di circa 1760 ha. Ulteriori tracimazioni interessarono il tratto montano, tra Cellino ed il Lago di Barcis.

In provincia vi furono allagamenti in sinistra Livenza (Fig. 18.4), che interessarono il territorio cartografato in Fig. 18.1.

Successivamente sono avvenuti altri eventi di piena, che però non hanno alluvionato il territorio provinciale restando confinati all'interno degli argini.

Tuttavia, merita richiamare le due gravi alluvioni di giugno e novembre 2002 occorse nella zona di Pordenone. In provincia di Venezia, pur arrivando l'onda di piena a lambire le quote di sommità arginale del fiume Livenza, non si sono verificati danni per tracimazioni o rotture arginali, anche in ragione delle esondazioni nel tratto posto a monte.



Fig. 18.4 - Vigneto allagato nel novembre 1966 nelle campagne di S. Stino di Livenza.

18.2.1.3. Fiume Piave

Per il suo regime torrentizio, caratterizzato da una portata media annua di 130 m³/s e da una portata massima di circa 5000 m³/s, il Piave ha sempre dato luogo ad alluvioni di notevoli proporzioni.

Analizzando gli eventi storici di piena si può osservare che, se si escludono eventi eccezionali localizzati nel tratto montano del corso del fiume in occasione delle piene di maggiore intensità, le rotte con conseguenze catastrofiche interessano il corso di pianura del fiume e, segnatamente, il tratto di alveo compreso fra Nervesa (TV) e la foce.

Limitando questo breve *excursus* storico all'ultimo periodo, in quanto l'alveo da allora ha assunto il suo attuale assetto, si ricordano in particolare gli eventi di piena del 1882, del 1903, del 1926, del 1928 e infine del 1966.

L'evento del 1882 determinò estese rotte arginali nel tratto fra Zenson di Piave (TV) ed Eraclea, con allagamento di circa 550 km². A partire dal 1882, con prosecuzione protrattasi sin dopo l'evento del 1903, che fu contenuto nelle arginature, si provvide al rialzo, ringrosso e consolidamento delle arginature a valle di Zenson. Tale attività, ripresa dopo gli eventi del 1926 e del 1928, ha causato un aumento della capacità di smaltimento dell'alveo a valle di Zenson creando di fatto un apparato di smaltimento delle portate che non possono percorrerlo, il cui funzionamento consiste nella formazione di rotte nel tratto Candelù - Zenson (TV) in cui l'alveo del fiume si restringe da circa 4 km a soli 280 m.

Nel 1966 tale apparato ha determinato il riversamento in campagna di circa 2500 - 3000 m³/s che hanno allagato aree, sia in sinistra che in destra dell'alveo, per circa 450 km². In questo caso le rotte per sormonto e collasso delle arginature fra Zenson e Candelù furono ben dodici.



Fig. 18.5 - Recupero alluvionati in località Grassaga (San Donà di Piave - Novembre 1966 - Archivio Cav. Angelino Battistella)

Anche in questo caso gli ampi territori allagati dal Piave nel 1966 sono cartografati nella planimetria della Fig. 18.1 e raffigurati nelle Figg. 18.5 - 18.6. - 18.7.

Dopo il 1966 non vi sono più state piene che abbiano allagato aree del territorio provinciale, anche se numerose sono state quelle che hanno destato forte



Fig. 18.6 - Idrovora scaricante sul Taglio del Sile, con visione del territorio allagato circostante (Musile di Piave - Novembre 1966 - Archivio Cav. Angelino Battistella).



Fig. 18.7 - Veduta aerea dell'abitato di Losson della Battaglia allagato (Meolo - Novembre 1966 - Foto Rizzetto).

preoccupazione anche serie, pur limitandosi a invadere le sole aree golenali. Tra le piene più recenti, avvenute cioè dopo il 2000, si ricordano quelle dei giorni 25-26-27-28 novembre 2002, 1-2-3-4 novembre 2010, 23-24-25 dicembre 2010⁹.

18.2.1.4. Fiume Sile

Per la sua stessa natura il Sile non è un fiume soggetto a esondazioni e a rilevanti trasporti di sedimenti. Per il suo carattere di fiume di risorgiva, cioè di decantazione di un acquifero che ha una notevole capacità di ricarica ma una velocità di deflusso relativamente lenta, il Sile reagisce con forte ritardo nei confronti degli eventi di precipitazioni eccezionali e d'altro canto mantiene portate elevate anche dopo lunghi periodi di siccità.

Un voluto abbassamento dell'argine destro in località Le Trezze di Quarto d'Altino consente che le acque del fiume possano defluire direttamente in Laguna in occasione di eventi di piena.

Tuttavia gli interventi operati lungo il fiume nel corso del tempo e l'urbanizzazione del territorio hanno alterato le condizioni originarie determinando una maggiore variabilità delle portate.



Fig. 18.8 - La piena del Piave al traghetto di barche tra Fossalta e Noventa (25.12.2010).

18.2.1.5. Fiumi Brenta - Bacchiglione e Gorzone

Il sistema Brenta - Bacchiglione - Gorzone è stato interessato da numerosi eventi di piena, i più gravosi dei quali sono stati, per limitarsi al periodo più recente, quelli del 1882 e del 1966.

Numerosi altri eventi di piena d'intensità minore dei precedenti si sono verificati nel corso del secolo scorso, generando alluvioni anche vaste nei territori delle province di Padova e Vicenza¹⁰.

Analizzando le zone allagate nel corso degli eventi di piena, si può desumere che il territorio della provincia di Venezia attraversato dal Brenta sia interessato da alluvioni solo in corrispondenza degli eventi di maggiore intensità. Ciò vale ovviamente per la parte di territorio provinciale che si trova attorno alla foce del fiume; quindi eventuali rotte a monte favoriscono la laminazione dell'onda di piena che si propaga verso valle e che, di conseguenza, può transitare, spesso, all'interno delle arginature. Il suo tratto tra Stra, Vigonovo e Campolongo Maggiore è stato invece alluvionato nel 1966 (Figg. 18.9 - 18.10) come gli adiacenti territori padovani, come risulta esaminando la cartografia della Fig. 18.1.

Questo fatto però non implica che le alluvioni, quando si verificano, abbiano conseguenze limitate, in quanto la pensilità dell'alveo rispetto al latitante piano di campagna e l'inadeguatezza dello stesso per il transito delle portate di massima piena prevedibili determinano comunque una situazione di rischio idraulico grave. A questa situazione si aggiunge il fatto che spesso le onde di piena generatesi nei tre fiumi arrivano alla foce contemporaneamente, mettendo in crisi l'ultimo tratto di alveo comune e creando rigurgiti nelle

⁹ Si ringrazia il geom. Pasquale Schilardi, ufficiale idraulico per il fiume Piave nel territorio provinciale di Venezia, per le informazioni fornite sulle piene più recenti.

¹⁰ L'ultima alluvione del Bacchiglione (con i suoi affluenti) che ha pesantemente colpito sia Vicenza (con Caldogno) che il padovano (e segnatamente i comuni di Bovolenta, Casaserugo, Ponte San Nicolò e Veggiano) è avvenuta in data 1.11.2010.



Fig. 18.9 - Vigonovo allagata (novembre 1966).



Fig. 18.10 - Il centro di Vigonovo allagato (novembre 1966).

aste terminali del Bacchiglione e del Gorzone, soprattutto in concomitanza con i livelli delle alte maree. Poiché Bacchiglione e Gorzone sono i corpi idrici recettori finali di un vasto territorio bonificato facente parte dei comprensori di bonifica Adige - Bacchiglione e Bacchiglione - Brenta¹¹, si verificano anche problemi di allontanamento delle acque provenienti da tali aree, segnatamente nelle zone di Rottanova, Pettorazza Grimani (RO) e Brondolo.



18.2.1.6. Fiume Adige

Le piene dell'Adige ora destano minori preoccupazioni in quanto la galleria Mori-Torbole (TN), appositamente scavata (e terminata nel 1959), funge da scolmatore delle sue piene nel lago di Garda; però, visti i problemi ambientali, e quindi anche turistici ed economici, che s'innestano quando le acque fredde e torbide dell'Adige in piena si mescolano a quelle del lago, la funzione di scolmatore è attivata solo quando risulta del tutto indispensabile, ma mette comunque il territorio provinciale al riparo dagli eventi più calamitosi. La tenuta del corpo arginale rappresenta però ancora un rischio per la pianura.

Non fu così il 17 settembre 1882 quando l'Adige ruppe gli argini ad Angiari (VR), a 100 km dall'Adriatico, e la conseguente alluvione devastò, oltre alla bassa veronese e a parte del polesine, anche il territorio di Cavarzere nella sua parte meridionale (e cioè a sud dell'Adige) in quanto l'ondata di piena si riversò sul Tartaro - Canalbianco.

Da notare che la galleria Mori - Torbole è stata messa in funzione 10 volte in cinquant'anni; considerando solo gli anni successivi alla sua apertura nel 1966 (che ha evitato l'allagamento di Verona), è stata messa in funzione negli anni 1976, 1980, 1981, 1983, 2000 e 2002.

18.2.1.7. Fiume Po

La più grande alluvione che colpì l'Italia contemporanea fu quella dal 14 novembre 1951, che interessò gran parte del polesine, ivi compresa la parte meridionale del comune di Cavarzere. (Fig. 18.11). Le vittime furono 84 e oltre 180.000 i senzatetto; rilevanti anche le conseguenze sociali ed economiche che ne derivarono.

Il Po ruppe in tre punti a Canaro e a Occhiobello (RO) e circa $\frac{2}{3}$ della sua portata di piena (calcolata in ben 12.800 m³/s) si riversò nel territorio; a Pontelagoscuro (FE) sarebbero transitati 13 miliardi di m³, di cui 6 defluiti a mare e 7 miliardi riversatisi, attraverso le rotte, fino all'Adige. La superficie allagata è stata di oltre 100.000 ha, pari a circa il 52% del territorio dell'intero

¹¹ Ora rispettivamente "Adige Euganeo" e "Bacchiglione".



Fig. 18.11 - Il centro di Cavarzere alluvionato dal Po (novembre 1951). a: Il Municipio. b: via Roma. (Archivio storico-fotografico della Biblioteca Comunale di Cavarzere).

polesine (compresa la parte del cavarzerano a sud dell'Adige); l'altezza media della lama d'acqua è stata di ben 6 m per un periodo di 6 mesi.

Per ormai acclerate insipienze umane, le acque di piena nel loro defluire verso il mare causarono danni enormi anche in zone che, con interventi mirati, avrebbero potuto restare indenni; tra queste il territorio di Cavarzere. Peraltro, in tale circostanza una buona parte del Delta è stata alluvionata dal mare, che ha investito le difese, provocandone il collasso. Un evento, dunque, che ha interessato le due province di Venezia e, soprattutto, di Rovigo, in un drammatico "continuum".

Risulta quindi il caso, abbastanza particolare, di una parte del territorio provinciale allagabile da un corso d'acqua che scorre al di fuori dei suoi confini.

Da allora a seguito di vari interventi la situazione è complessivamente migliorata. Tuttavia, si richiama la piena del 2000 che, essendo la maggiore in assoluto lungo l'asta principale del fiume, ha causato gravi danni nella parte occidentale del bacino (Piemonte), pur transitando nel Veneto senza effetti disastrosi.

18.2.1.8. Allagamenti a causa delle mareggiate

E' opportuno far qui anche un breve riferimento alle aree che nel 1966 sono state allagate prevalentemente per effetto delle mareggiate¹². Come risulta dalla Fig. 18.1, esse sono state abbastanza estese e praticamente hanno interessato tutta la fascia costiera (isole litoranee comprese). Sono stati allagati sia terreni agricoli (Fig. 18.12) che aree urbane (per esempio Caorle).

Se si considera poi l'effetto dell'eccezionale 'acqua



Fig. 18.12 - Terreni orticoli in comune di Chioggia allagati dalla mareggiata del 4.11.1966.



Fig. 18.13 - L'acqua alta del 4.11.1966 a Venezia - San Salvador.



Fig. 18.14 - L'alta marea del 4.11.1966 a Chioggia in corso del Popolo.

alta', sono state pesantemente allagate anche le città di Venezia (Fig. 18.13) e di Chioggia (Fig. 18.14). Ma qui entriamo in un'altra tematica, non trattata nel presente Atlante.

18.2.2. Pericolosità relativa ai grandi fiumi

Si riporta nei paragrafi seguenti un sunto delle principali criticità, evidenziate nelle Relazioni dei Piani di Assetto Idrogeologico (PAI, o PPAI se progetti di PAI adottati). Fa eccezione, esclusivamente, il bacino denominato "Laguna di Venezia" per il quale non è mai stata istituita la rispettiva Autorità di Bacino.

Nella cartografia di Tav. 16, alla scala 1:100.000, sono rappresentate le aree con diverso grado di classificazione di pericolosità idraulica dalla rete idrografica principale.

18.2.2.1. Tratto terminale del fiume Tagliamento

Con delibera del Comitato Istituzionale n° 1 del 3.03.04, l'Autorità di Bacino dei fiumi Isonzo, Tagliamento, Livenza, Piave, Brenta - Bacchiglione ha adottato il relativo Progetto di Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico.

I risultati, illustrati nelle cartografie del PPAI sopra citato, hanno evidenziato, nel territorio della provincia di Venezia, le seguenti principali criticità:

- il ponte ferroviario tra San Michele al Tagliamento e Latisana, le cui strutture sono sensibilmente più basse della sommità arginale e creano, oltre a uno sbarramento al regolare deflusso dell'onda di piena, una discontinuità nelle arginature e quindi una pericolosa via di esondazione durante le piene dell'ordine centennale;
- l'area a valle dell'incile del Cavarato a iniziare dall'abitato di Cesarolo, in quanto soggetta a esondazione per il superamento, in caso di piena centennale, dell'attuale massima portata smaltibile dal Cavarato (pari a 2.000 m³/s);
- la conca di navigazione di Bevazzana, le cui porte vinciane sono a quote inferiori a quelle arginali del Tagliamento e a quella del franco di sicurezza idraulico; in caso di piene eccezionali potrebbe pertanto verificarsi l'allagamento di zone agricole.

¹² Si veda anche il capitolo 19 "Rischio da mareggiata" e la Tav. 16.

Conseguentemente:

- la porzione di territorio in comune di San Michele al Tagliamento (località San Giorgio) a monte del ponte ferroviario presenta una pericolosità idraulica P3¹³;
- ampie porzioni di territorio in comune di San Michele al Tagliamento, a valle dell'incile del Cavrato in destra idrografica del Tagliamento e del Cavrato sino alla foce, presentano pericolosità idraulica P2¹⁴;
- l'intero territorio del comune di San Michele al Tagliamento, al di là delle fasce sopra descritte, presenta una pericolosità idraulica P1.

La perimetrazione delle aree a rischio idrogeologico per le quali è stato dichiarato lo stato di emergenza ai sensi della Legge n° 225/92, operata dalla Regione del Veneto, ha individuato zone a rischio moderato, medio ed elevato (R1, R2, R3) che investono l'intero territorio compreso tra il Cavrato, il Tagliamento e la Litoranea Veneta¹⁵.

18.2.2.2. *Tratto terminale del fiume Lemene*

Con delibera del Comitato Istituzionale n° 1 del 26.11.02, l'Autorità di Bacino del fiume Lemene ha adottato il relativo Progetto di Piano di Assetto Idrogeologico.

I risultati, illustrati nel PPAI sopra citato, evidenziano, nel territorio della provincia di Venezia, le seguenti principali criticità:

Tr = 20 - 50 anni

- nella parte di valle del bacino il sistema arginato mostra di contenere adeguatamente i livelli massimi che dipendono dalle condizioni di marea;
- le esondazioni legate al sistema del Nicesolo e alla laguna di Caorle non determinano condizioni di rischio idraulico, proprio per la particolarità dell'area interessata (valli inondabili deputate all'assorbimento di volumi di esondazione);
- le aree di esondazione maggiormente estese sono quelle che interessano il sistema di rogge dell'alto Lemene e che coinvolgono principalmente il territorio dei comuni di Gruaro (per effetto di esondazioni del Lemene e della Roggia Versiola), Portogruaro (per effetto di esondazioni sia in destra che in sinistra della Roggia Versiola a monte dell'autostrada A4), Cinto Caomaggiore (per esondazione dal sistema costituito dal Cao Maggiore e dal Reghena);
- il Reghena, a monte dell'autostrada A4, dà luogo a esondazioni in sponda destra interessanti il territorio comunale di Portogruaro.

Tr = 100 anni oltre alle criticità già evidenziate con Tr = 50 anni:

- a monte della confluenza fra Loncon e Lemene si evidenzia, in sinistra idrografica del Loncon, l'esondazione di una vasta area interessante il territorio del comune di Concordia Sagittaria;
- a valle della confluenza tra Lemene e Roggia Versiola si evidenziano limitati allagamenti di aree abitate a nord di Portogruaro;
- a monte della confluenza tra Lemene e Reghena si verificano esondazioni, sia in destra che in sinistra

idrografica, interessanti anche l'abitato a ovest di Portogruaro;

- il territorio a confine tra i comuni di Teglio Veneto e Fossalta di Portogruaro è interessato da esondazioni della Roggia Lugugnana.

E' da rilevare che alle aree assoggettate a scolo meccanico è stata attribuita la pericolosità P1.

18.2.2.3. *Tratto terminale del fiume Livenza*

Con delibera del Comitato Istituzionale n° 2 del 25.02.03, l'Autorità di Bacino dei fiumi Isonzo, Tagliamento, Livenza, Piave, Brenta - Bacchiglione ha adottato il relativo Progetto di Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico.

I risultati, illustrati nelle cartografie del PPAI sopraccitato, non hanno evidenziato, nel territorio della provincia di Venezia, aree a pericolosità idraulica P3, ma solo le seguenti principali criticità:

- nel territorio comunale di S. Stino di Livenza, in sinistra idrografica, una fascia di larghezza variabile delimitata a nord dal Canale Malgher, a est dal canale Carretta e da alcune strade comunali - ponderali, ha un livello di pericolosità P2 e, residualmente a questa, un'ulteriore fascia, pure di larghezza variabile e delimitata dalla S.P. 61 e da alcune strade comunali, di pericolosità P1;
- nel territorio comunale di Torre di Mosto, in destra idrografica una fascia di larghezza variabile delimitata da alcuni scoli di bonifica e dalla S.P. 62, interessante tra l'altro quasi tutto l'abitato di Torre di Mosto, ha un livello di pericolosità P2 e residualmente a questa un'ulteriore fascia, pure di larghezza variabile e interessante l'area di Prà di Levada, è di pericolosità P1;
- in prossimità della foce, il territorio comunale di Caorle, delimitato in destra idrografica dal Canale Commessera, dalle strade provinciali S.P. 94 e S.P. 62 e in sinistra dal Canale Riello e interessante gli abitati di Caorle e Porto Santa Margherita, ha un livello di pericolosità idraulica P1.

E' bene, a questo punto, precisare che i confini del bacino idrografico del Livenza, nel territorio della provincia di Venezia, coincidono con l'area fluviale della

¹³ Attualmente (2011) il problema del ponte ferroviario fra Latisana e San Michele al Tagliamento non è più l'incubo di un tempo; secondo quanto commissionato dal Magistrato alle Acque a metà 2010 si è proceduto infatti all'intervento di rialzo (di circa 1 m) in modo definitivo con adeguamento delle strutture e raccordo di rampe e di un ulteriore 1,10 m tramite impiego di martinetti pneumatici, che consentiranno il sollevamento del solo impalcato, in caso di piene eccezionali.

¹⁴ Anche nel caso del Cavrato sono stati eseguiti in questi ultimi anni, e sono tutt'ora in corso (2011), importanti interventi di rialzo e ringrosso delle sue arginature.

¹⁵ La 'Litoranea Veneta' è l'insieme di canali che consentono la navigabilità a breve distanza dalla costa nel tratto tra la Foce del Tagliamento (conca di Bevazzana - San Michele al Tagliamento) e la Biconca di Volta Grimana (Porto Viro - RO) sul Po di Levante; per quanto qui d'interesse s'intende il suo breve tratto tra la conca di Bevazzana e il Porto di Baseleghe. La Litoranea Veneta prosegue, con lo stesso nome, in Friuli Venezia Giulia fino alla Foce dell'Isonzo.

parte terminale dell'asta; pertanto le aree in destra idrografica, sino alla sinistra idrografica del Piave, rientrano nell'ambito di competenza dell'Autorità di bacino del Sile - Pianura Veneta tra Piave e Livenza, il cui Piano di Assetto Idrogeologico è stato approvato con delibera del Consiglio regionale n° 48 del 27.06.07.

I risultati, illustrati nel PAI sopra citato, evidenziano, nel territorio della provincia di Venezia e relativamente alla sopraddetta area, le seguenti principali criticità:

Tr = 20 - 50 anni

- si manifestano fenomeni di allagamento in destra Piavon, per insufficienza delle quote arginali, che interessano l'abitato di Ceggia, con lame d'acqua > 50 cm e che, per l'incapacità a smaltirli della rete idrografica minore del bacino Bella Madonna, si estendono sino oltre l'idrovora Fossà;
- lungo il canale Grassaga si riscontrano, in destra, fenomeni di allagamento che superano il rilevato stradale della S.P. 55 e vanno a interessare alcune aree a ridosso dell'autostrada;
- nel comprensorio del Cirgogno si verificano fenomeni di allagamento in località Madonna delle Grazie a monte della strada per Noventa di Piave;
- il canale Commessera, a valle delle porte vinciane che presidiano lo sbocco del canale Brian, è interessato da tracimazioni;
- nei comprensori dell'Ongaro Superiore in prossimità dell'idrovora Cittanova e dell'Ongaro Inferiore in prossimità dell'abitato di Ponte Crepaldo e in adiacenza al Collettore Principale Terzo, si verificano fenomeni di allagamento, determinati dall'insufficienza del reticolo idrografico di bonifica.

Tr = 100 anni oltre alle criticità già evidenziate con Tr = 50 anni:

- si aggrava il fenomeno di allagamento dovuto alla tracimazione del canale Piavon, proprio in attraversamento del centro abitato di Ceggia; l'allagamento si estende praticamente sino alla confluenza con il Canale Brian;
- oltre i canali Revedoli - Largon - Commessera è interessato da allagamento il bacino delle Assicurazioni Generali, sia per insufficienza della rete locale che per sormonti puntuali dell'argine sinistro del Commessera.

18.2.2.4. Tratto terminale del fiume Piave

Con delibera del Comitato Istituzionale n° 1 del 3.03.04, l'Autorità di Bacino dei fiumi Isonzo, Tagliamento, Livenza, Piave, Brenta-Bacchiglione ha adottato il relativo Progetto di Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico.

I risultati, illustrati nelle cartografie del PPAI sopraccitato, hanno evidenziato, nel territorio della provincia di Venezia, le seguenti principali criticità:

- è stata rilevata una marcata depressione delle sommità arginali tra San Donà di Piave ed Eraclea nonché una sensibile differenza di quota tra le sommità arginali destra e sinistra nella tratta che va dal ponte di San Donà al ponte autostradale A4 VE-TS. Si determina un'insufficienza della sezione idraulica cui consegue l'insufficienza dell'attuale capacità di portata rispetto ai valori al colmo delle massime piene.

Conseguentemente:

- nei territori comunali di Noventa di Piave, San Donà di Piave, Eraclea (in sinistra idrografica) e di Fossalta di Piave, Musile di Piave, San Donà di Piave e Jesolo (in destra idrografica) fasce di larghezza variabile presentano un livello di pericolosità P2; al di là di esse ulteriori fasce, pure di larghezza variabile, hanno un livello di pericolosità P1;
- nei territori comunali di Musile di Piave e San Donà di Piave, in località Intestadura, si evidenzia una fascia con livello di pericolosità P3 a cavallo dell'incile della Piave Vecchia;
- in prossimità della foce, un'ampia zona del territorio comunale di Jesolo, delimitata dal Canale Cavetta e dalla foce del Sile, ha un livello di pericolosità idraulica P1;
- sono stati evidenziati alcuni punti di discontinuità critici: il ponte dell'autostrada A4 VE-TS a monte di Noventa di Piave, il ponte ferroviario a monte di San Donà di Piave e il ponte stradale di San Donà hanno l'intradosso a quota inferiore a quella massima raggiunta dalla piena centenaria e costituiscono pertanto un serio ostacolo al deflusso della piena, ma anche il rischio di rigurgiti nelle sezioni immediatamente a monte.

E' bene, a questo punto, precisare che i confini del bacino idrografico del Piave, nel territorio provinciale, coincidono con l'area fluviale della parte terminale dell'asta e che, pertanto, sia le aree in destra idrografica che quelle in sinistra idrografica del fiume rientrano nell'ambito di competenza dell'Autorità di bacino del Sile - Pianura Veneta tra Piave e Livenza, il cui Piano di Assetto Idrogeologico è stato approvato con delibera del Consiglio regionale n° 48 del 27.06.07. Per le criticità evidenziate nel PAI sopraccitato si rimanda ai paragrafi relativi al fiume Livenza e al fiume Sile.

18.2.2.5. Tratto terminale del fiume Sile

Con delibera del Consiglio regionale n° 48 del 27.06.07 è stato approvato il Piano di Assetto Idrogeologico predisposto dall'Autorità di bacino del fiume Sile e della Pianura Veneta tra Piave e Livenza.

I risultati, illustrati nel PAI sopraccitato, evidenziano, nel territorio della provincia di Venezia e relativamente al Sile, le seguenti principali criticità:

Tr = 20 - 50 anni

- la fuoriuscita dal Sile, a valle dell'Isola del Morto, scendendo lungo la rete minore interessa, con condizioni di incipiente allagamento, zone prossime all'abitato di Quarto d'Altino;
- superfici di una certa estensione si allagano in destra Sile, in zone basse tra il fiume e la laguna, lasciando però franche dalle acque le strade principali; trattasi peraltro di territori esterni al bacino in quanto scolanti nella Laguna di Venezia;
- lungo il Taglio del Sile, in sinistra, si evidenzia una condizione di sofferenza idraulica dei terreni bonificati, la cui estensione è incrementata per problemi legati all'insufficienza della rete di scolo;
- per le stesse cause estese superfici si allagano nel bacino di Cavazuccherina;

- le zone in destra e sinistra al Canale Cavetta sono interessate da allagamento, spesso in dipendenza dei livelli di marea;
- le condizioni di sofferenza idraulica del bacino di Ca' Gamba si estendono fino al limite della fascia costiera interessando Jesolo Lido;
- in destra Sile, all'esterno dell'ambito del bacino, ampie superfici si allagano all'inizio del litorale del Cavallino.

Tr = 100 anni oltre alle criticità già evidenziate con Tr = 50 anni:

- in località Quarto d'Altino è confermata la tendenza all'allagamento da parte delle acque uscite dal Sile più a monte;
- si osservano un inizio di allagamento oltre il rilevato della ferrovia Venezia - Trieste e fenomeni locali di esondazione dal reticolo idrografico minore;
- sono confermate in sinistra del Taglio fenomeni di allagamento legati all'insufficienza della rete di bonifica del comprensorio di Caposile e più a valle, oltre Caposile, i problemi sono dovuti soprattutto agli effetti della marea lungo il Canale Cavetta;
- si confermano condizioni di sofferenza idraulica a Jesolo Paese in destra Cavetta, all'attacco del canale con il Sile.

E' da rilevare che alle aree assoggettate a scolo meccanico è stata attribuita la pericolosità P1.

18.2.2.6. Bacino della Laguna di Venezia

L'Autorità di Bacino di rilievo regionale 'Laguna di Venezia' non è mai stata formalmente istituita: allo stato attuale, pertanto, non risulta adottato alcun PPAI, anche se gli uffici regionali competenti vi hanno lungamente lavorato.

L'evoluzione normativa (D.Lgs. n° 152/06) ha profondamente ridefinito i confini dei bacini idrografici e le relative competenze. Di fatto è verosimile che la sopra citata Autorità di Bacino non veda mai la luce (e quindi tanto meno il detto strumento di pianificazione).

L'applicazione del modello matematico, predisposto qualche anno fa dal prof. D'Alpaos dell'Università di Padova per incarico della Provincia di Venezia, ha peraltro evidenziato le criticità di seguito elencate.

Il funzionamento idraulico del sistema, nelle sezioni poste più a valle, risulta fortemente condizionato dall'andamento delle maree e delle mareggiate nell'Adriatico settentrionale, che possono sostenere i livelli idrometrici alle foci dei corsi d'acqua nella Laguna di Venezia; in condizioni di piena si possono verificare esondazioni in corrispondenza delle immissioni dei corsi d'acqua minori nella parte alta dei fiumi Dese, Zero e Marzenego. Nella parte meridionale i rischi di allagamento sono principalmente legati alle condizioni di marea alle foci in laguna.

Le portate di piena più gravose, soprattutto se associate a condizioni di marea eccezionale, danno luogo:

- a esondazioni, nella parte alta dei bacini, essenzialmente dai canali costituenti la rete minore,
- ad allagamenti diffusi e generalizzati nella parte meridionale dei bacini, per insufficienza delle reti di bonifica, e nelle zone più vicine alla laguna per rigurgito provocato dall'alta marea.

Territorio compreso fra Marzenego e Brenta

Lo studio con modello matematico, per la molteplicità dei corsi d'acqua presenti, per la presenza di numerosissimi manufatti idraulici e per gli scarsi dati idrologici e idraulici disponibili, è stato applicato al solo bacino del Brenta.

Per eventi di piena con $Tr = 100$ anni, il territorio adiacente al fiume Brenta, nel tratto che va da Stra a Codevigo (PD), è potenzialmente a rischio di allagamento. Infatti il Piovego, che confluisce nel Brenta a Stra, può, in occasione di piene eccezionali, essere rigurgitato dal fiume maggiore. Secondo la simulazione le esondazioni del Piovego, per effetto delle pendenze dei terreni, tendono a propagarsi verso sud in adiacenza all'argine destro del Brenta e possono potenzialmente investire un'area piuttosto vasta che interessa gli abitati di Tombelle (PD) e Vigonovo (anche se la lama d'acqua risulta generalmente di modesta entità: inferiore a 1 m).

18.2.2.7. Tratto terminale del Brenta - Bacchiglione

Con delibera del Comitato Istituzionale n° 1 del 3.03.04, l'Autorità di Bacino dei fiumi Isonzo, Tagliamento, Livenza, Piave, Brenta - Bacchiglione ha adottato il relativo Progetto di Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico.

I risultati, illustrati nelle cartografie del PPAI sopra citato, hanno evidenziato, nel territorio della provincia di Venezia, le seguenti principali criticità:

- il corso terminale del Brenta è sottodimensionato rispetto alle portate centennali dell'intero sistema fluviale Brenta - Bacchiglione - Gorzone, le cui aste possono contemporaneamente essere interessate da piene di gravità confrontabile;
- anche nei tratti terminali del Bacchiglione e del Gorzone si manifesta, con eventi caratterizzati da tempo di ritorno di 50 anni, il superamento delle sommità arginali.

Conseguentemente:

- nel territorio comunale di Chioggia, la porzione compresa tra il Brenta e il Bacchiglione, sino alla loro confluenza, presenta una pericolosità idraulica P3; in destra idrografica del Bacchiglione un'ampia fascia di larghezza variabile presenta un livello di pericolosità P2; in sinistra idrografica del Brenta, sino allo sbocco in laguna del canale Novissimo, è presente una stretta fascia a pericolosità P2 e, al di là di essa, vi è un'ulteriore fascia, estesa sino alle barene, con un livello di pericolosità P1;
- nel territorio comunale di Cavarzere (e in parte del territorio di Chioggia), in destra idrografica del Fiume Gorzone, a partire dal ponte del Bacino sino alla confluenza nel Brenta, sono presenti alcune fasce di larghezza variabile a pericolosità idraulica P2.

18.2.2.8. Tratto terminale del fiume Adige

Con delibera del Comitato Istituzionale n° 1 del 18.12.01 l'Autorità di bacino nazionale del fiume Adige ha adottato il relativo Progetto di Piano Stralcio per la tutela dal rischio idrogeologico.

I risultati, illustrati nel PPAI sopracitato, non evidenziano, nel territorio della provincia di Venezia, alcuna criticità, anche in considerazione del fatto che la delimitazione del bacino, nel tratto terminale del corso d'acqua, viene fatta corrispondere con l'unghia dell'argine.

18.2.2.9. Territorio compreso fra l'Adige e il confine meridionale della provincia di Venezia

La porzione di territorio in esame rientra nell'ambito di competenza dell'Autorità di bacino del Fiume Fissero - Tartaro - Canalbianco che con delibera del Comitato Istituzionale n° 1 del 12.04.02 ha adottato il relativo Progetto di Piano di Assetto Idrogeologico.

Nel predetto PPAI si è fatto riferimento alla sola rete idrografica principale, cioè ai corsi d'acqua di dimensioni maggiori in termini sia geometrici che di portate; sono stati esclusi, pertanto, probabili stati di esondazione riconducibili alla rete minore che, pur potendo avere elevata ricorrenza, hanno di norma intensità contenuta e quindi tali da non generare gravi sofferenze per la popolazione.

Con questi presupposti non sono state evidenziate criticità nel territorio in provincia di Venezia.

E' da rilevare che alle aree assoggettate a scolo meccanico è stata attribuita la pericolosità P1.

18.3. RISCHIO IDRAULICO DALLA RETE IDROGRAFICA MINORE

In relazione alla rete idrografica minore, come meglio verrà descritto nei paragrafi seguenti, in conseguenza delle profonde trasformazioni del territorio e dei cambiamenti climatici in atto, si determina una generalizzata carenza degli elementi necessari per una puntuale e attendibile individuazione degli allagamenti in funzione dei tempi di ritorno o dello spessore della lama d'acqua.

Sono state, quindi, rappresentate nella cartografia di Tav. 16 in scala 1:100.000 le aree che sono state allagate recentemente (circa negli anni dal 2000 al 2009 compresi¹⁶); non è stato quindi attribuito un grado di pericolosità (e cioè di *probabilità di accadimento di un evento calamitoso*), ma si è voluto assegnare a tale documento una funzione esclusivamente conoscitiva di una serie di eventi, che hanno provocato notevoli disagi e danni al territorio in tempi recenti.

Si ritiene, quindi, opportuno indicare come l'intera provincia di Venezia abbia una "potenziale pericolosità idraulica", mettendo con ciò in evidenza la sua estrema fragilità e la possibilità che, in particolari circostanze e con eventi di particolare intensità, si verifichino allagamenti pressoché ovunque.

18.3.1. La condizione delle reti idrauliche secondarie: reti di drenaggio urbano e canali di bonifica

Risulta innegabile che le principali criticità idrauliche del territorio della Provincia, con sempre più frequenti ed estesi allagamenti, non siano legate necessariamente a fenomeni di esondazione di grandi fiumi, ma

interessino in particolare le aree urbane e, quindi, le reti secondarie di raccolta delle acque meteoriche.

Ma quali sono i motivi di tale crescente criticità? E' più corretto invocare le cause naturali, i mutamenti climatici, che comportano un incremento dell'intensità e della frequenza degli eventi meteorici, oppure si tratta di un generale sottodimensionamento delle reti di drenaggio urbano?

In ogni caso risultano evidenti gli effetti: danni agli immobili, alle strade e altre infrastrutture del territorio e gravi disagi alle persone con il conseguente strascico di polemiche e caotiche attribuzioni di responsabilità, che spesso fanno perdere di vista la comprensione dei problemi e quali strategie si dovrebbero adottare per risolverli.

Decenni di costante ampliamento delle aree urbane hanno esaltato l'effetto d'impermeabilizzazione dei suoli, riducendo drasticamente la capacità di trattenimento d'acqua dei terreni.

A questo proposito va considerato che in un normale ciclo idrologico non tutta l'acqua che precipita sulla terra dà luogo a deflusso superficiale. In un suolo naturale una parte viene intercettata dalla vegetazione e dalle depressioni superficiali, disperdendosi successivamente nell'atmosfera per evaporazione; quindi, per la frazione che si infiltra nel terreno, in misura maggiore o minore in ragione delle caratteristiche di permeabilità del terreno (argilla, sabbia ...) ¹⁷, si avrà una piccola parte che evaporerà direttamente, un'altra parte assorbita dalle radici della vegetazione e quindi rimessa nell'atmosfera attraverso le foglie (evapotraspirazione) e, infine, una terza porzione d'acqua che filtrerà verso gli strati più profondi e le falde (percolazione) o verso la rete idrografica, mantenendosi negli strati superficiali.

In conclusione, il deflusso superficiale, che si può intendere anche come pioggia netta o efficace, è solo una parte della precipitazione meteorica e si ottiene da questa eliminando le aliquote sopra descritte.

Con l'impermeabilizzazione delle superfici e la loro regolarizzazione, che sono le due manifestazioni più evidenti dell'urbanizzazione, si contribuisce in modo determinante all'incremento del *coefficiente di afflusso* (la percentuale di pioggia netta che dà luogo al deflusso superficiale) e all'aumento conseguente del *coefficiente udometrico* (la portata per unità di superficie drenata) delle aree trasformate.

A titolo di esempio basti considerare che un ettaro di suolo agricolo, sottoposto a determinate condizioni di precipitazione intensa, è in grado di determinare una

¹⁶ In particolare sono stati indicati i seguenti periodi di allagamenti da parte dei Consorzi di bonifica di seguito indicati: Pianura Veneta: 2005÷2010; Basso Piave: 2000÷2009; Dese Sile: 2005÷2009; Sinistra Medio Brenta: 2000-2009; Bacchiglione Brenta: 2008-2010 (aree allagabili). I Consorzi di bonifica Destra Piave, Adige Bacchiglione, Delta Po Adige e Polesine Adige Canal Bianco non hanno invece fornito precisi riferimenti temporali.

¹⁷ Si vedano anche i capitoli 6 "Suoli" e 14 "Vulnerabilità".

portata superficiale di qualche litro al secondo, che però può trasformarsi in una portata anche di due ordini di grandezza superiore nel caso che quel terreno venga urbanizzato. Con l'ulteriore effetto di una drastica diminuzione del "tempo di corrivazione", ovvero il tempo che occorre alla generica goccia di pioggia caduta nel punto idraulicamente più lontano a raggiungere la sezione di chiusura dell'area di sgrondo in esame.



nifica (ricettori di valle delle reti di drenaggio urbano) fosse generalmente a livelli di massimo invaso durante lo svolgimento di un evento di piena. Peraltro, proprio in tal modo sono stati calcolati in origine i canali di bonifica, destinati a drenare un territorio fondamentalmente agricolo: il principio ispiratore della progettazione con il cosiddetto "metodo dell'invaso" conduce, infatti, a una valutazione della portata al colmo in funzione del volume immagazzinato nel sistema bacino -



Fig. 18.15 - Criticità idrauliche: due esempi di riduzione della sezione di un canale.

Tutto ciò determina, pertanto, la necessità di smaltire volumi d'acqua notevolmente superiori e in tempi molto contenuti.

Non si può certo ritenere che queste considerazioni non fossero note anche in passato, ma l'elemento di gran lunga sottovalutato ha riguardato le cosiddette "condizioni al contorno" e, in particolare, le condizioni del corso d'acqua o punto di recapito in genere della rete di drenaggio progettata. Infatti, si è generalmente ritenuto, e ne sono testimoni innumerevoli progetti generali delle fognature in ambito urbano o progetti di nuove lottizzazioni, che la capacità di smaltimento di una tubazione fosse determinata esclusivamente dalle sue dimensioni, dalla tipologia, ovvero il tipo di scabrezza o attrito reso dal materiale e, infine, in misura determinante, dalla sua pendenza.

In tal senso si è sottovalutato che, soprattutto in un territorio di pianura come quello della provincia di Venezia, la condizione usuale della rete dei canali di bo-

rete, ricavandone, pertanto, il dato di massima portata da assegnare all'impianto idrovoro.

Non essendo quindi garantito uno scarico libero alla rete di drenaggio urbana, si verificano i tanto temuti fenomeni di "rigurgito", che non rispondono più alle regole del moto uniforme in idraulica, ma provocano deflussi nelle tubazioni anche in contropendenza fino ad allagare le zone più depresse.

Tale estrema fragilità idraulica, quindi, va ricondotta al profondo mutamento che ha caratterizzato il tessuto urbano in questi ultimi decenni, rendendo, peraltro, indispensabile un adeguamento delle opere pubbliche di bonifica, elemento troppo spesso trascurato nella pianificazione del territorio (si veda la scheda sulle recenti trasformazioni urbanistiche).

A tal proposito basti considerare che il periodo trascorso dalle principali opere di bonifica del territorio è mediamente di un centinaio di anni. Alcune bonifiche e i rispettivi impianti risalgono a epoche anche più lontane, come ad esempio la bonifica Dossi Vallieri, il cui impianto risale al 1852, o la bonifica Foresto Centrale, con impianto di fine '800 ristrutturato nel 1940, o, ancora, le bonifiche di Lova (1890) e del Dogaletto (1895)¹⁸.

Una situazione, peraltro, che va inquadrata in un contesto generale con caratteristiche fisico-territoriali particolarmente sfavorevoli, come accade per la provincia di Venezia: la presenza di ampie aree (pari a circa la metà di tutta la provincia) giacenti sotto il livello del medio del mare, il fenomeno della subsidenza



Fig. 18.16 - Invasi di laminazione.

¹⁸ Si veda anche il capitolo 4 "Idrografia e bonifica idraulica".

(per cui alcune zone si abbassano progressivamente di anno in anno anche di qualche centimetro), il lungo cordone litoraneo esposto all'azione delle maree e delle mareggiate alimentate dai venti di scirocco, che condizionano il regolare deflusso dei corsi d'acqua¹⁹.

18.3.2. I cambiamenti climatici

Un problema che da sempre dev'essere affrontato nel dimensionamento delle opere idrauliche è la valutazione della quantità di pioggia da considerare quale riferimento per la progettazione.

A oggi, infatti, gli studi idrologico-idraulici partono dall'osservazione degli eventi passati stimando il *tempo di ritorno*, ovvero il grado di rarità di un evento, inteso come variabile probabilistica che indica il periodo di tempo che mediamente intercorre tra due eventi che hanno almeno la stessa entità.

Le progettazioni di opere idrauliche (fognature, impianti di sollevamento, canali, idrovore ecc.) partono da formule che associano l'intensità di pioggia (e conseguente altezza e volume) a un tempo di ritorno, le cosiddette *Curve segnalatrici di Possibilità Pluviometrica*. Si consente, in tal modo, il corretto dimensionamento dell'opera idraulica in grado di fronteggiare un determinato evento meteorico.

Si tratta, in definitiva, di analisi statistiche basate su registrazioni pluviometriche disponibili e che pongono quale ipotesi la "somiglianza" tra le precipitazioni future e quelle passate.

Tuttavia, l'esperienza di questi ultimi anni porta a ritenere che il fenomeno delle precipitazioni intense non sia effettivamente stazionario, ma sia in atto una particolare tendenza all'aumento della frequenza di tali eventi, che richiede lo studio di una nuova popolazione statistica, con caratteristiche differenti rispetto a quanto osservato in passato con la rete storica del Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale (SIMN), avviata nei primi decenni del secolo scorso.

Pertanto, risalgono al 2009 le elaborazioni promosse dalla Struttura Commissariale per l'evento alluvionale di settembre 2007, che ha colpito parte del territorio del Veneto, recentemente estese anche al resto del territorio regionale, a cura dell'Unione Veneta Bonifiche: si è proceduto a un'analisi regionalizzata considerando i dati di pioggia dagli anni '90 a oggi, 20 anni circa, con riferimento alla rete regionale del Centro Meteorologico di Teolo (CMT).

Il vantaggio di tali elaborazioni consiste nel poter contare su dati recenti ottenuti da strumentazione moderna e affidabile e aggregati su una scansione minima di 5 minuti, consentendo una ricognizione puntuale dei valori di precipitazione anche per eventi brevi e intensi, più rappresentativi di eventuali cambiamenti climatici in atto.

Pur considerando che la valutazione dei *trend* climatici recenti è tuttora oggetto di ricerca scientifica, con l'aggiornamento delle curve segnalatrici di possibilità pluviometrica si è potuto verificare per alcune aree che un'opera progettata in passato prendendo a riferimento un tempo di ritorno di 50 anni è oggi verificata

per un tempo di ritorno di soli 20 anni. Aumenta, dunque, la probabilità che tali opere risultino insufficienti. Ulteriori recenti analisi²⁰ sono state condotte dal Centro ARPAV di Teolo (PD) in merito ai fenomeni atmosferici in atto e ai possibili cambiamenti climatici, studiando in particolare alcuni eventi estremi di questi ultimi anni, che si ripetono con una certa regolarità intorno al mese di settembre lungo la fascia di costa, dov'è capitato in alcune occasioni di registrare quantità di pioggia in una giornata paragonabili a quella che cadono in un anno intero.

Le cause non sono di facile comprensione, tuttavia sono emerse alcune caratteristiche meteorologiche precedentemente poco note: il contributo del mare caldo dall'Adriatico, che crea un serbatoio di energia disponibile, unito a una particolare convergenza nella circolazione dei venti di scirocco e di bora che, laddove s'incontrano, creano nubi temporalesche con tendenza a rigenerarsi, scaricando notevoli quantità d'acqua.

L'analisi statistica ha messo, peraltro, in evidenza una differente localizzazione tra eventi estremi di lunga durata (cioè alcuni giorni), che si verificano sulle prealpi, e di breve durata, pari ad alcune ore, concentrati sulla fascia costiera.

18.3.3. Le strategie per il cambiamento e l'esperienza del Commissario delegato per l'emergenza idraulica del 26 settembre 2007

Dalle considerazioni esposte nei paragrafi precedenti emerge la necessità, oramai condivisa non solo a livello regionale, di modificare l'approccio in tema di progettazione idraulica, laddove le trasformazioni del suolo devono essere accompagnate da interventi che abbiano funzione compensativa per garantire l'*invarianza idraulica*. Ciò si traduce nella formazione di adeguati invasi di laminazione in grado di trattenerne le acque di pioggia senza provocare un aggravio della portata di piena del corpo idrico ricevente e rilasciare nel tempo le stesse acque, anche a fenomeno meteorico esaurito.

¹⁹ Si vedano anche i capitoli 1 "Microrilievo", 16 "Subsidenza" e 19 "Rischio da mareggiata".

²⁰ Si veda anche il capitolo 11 "Climatologia".



Fig. 18.17 - Pavimentazioni drenanti.

Accanto a tale principio, ritenuto fondamentale al fine di non aggravare in futuro con nuovi interventi edificatori la già precaria situazione attuale, vanno comunque incentivate le buone pratiche costruttive che consistono nell'impiego di materiali drenanti e assorbenti per le superfici adibite a parcheggio, cortili e viali d'accesso, nel preferire soluzioni senza il ricorso ai piani interrati, salvo l'adozione di accorgimenti che impediscano l'ingressione delle acque provenienti da possibili allagamenti interessanti le aree esterne.

Inoltre, a tutela delle aree limitrofe alle nuove lottizzazioni risulta buona norma mantenere inalterata la quota del piano campagna oggetto di trasformazione ed evitare, per quanto possibile, il tombinamento di piccole affossature, scoline o fossi di campagna e, nel



Fig. 18.18 - Barriera ribaltante anti-allagamento.

caso si rendesse necessaria la chiusura degli stessi, realizzarne di nuovi capaci (in termini di dimensioni e quote) di raccogliere le acque provenienti dalle aree di monte, se necessario trattenerle, e convogliarle verso valle.

Un forte impulso per l'approfondimento di questi temi è, peraltro, derivato dalla nomina, tramite Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n° 3621 del 18.10.2007, del Commissario delegato per l'emergenza concernente gli eccezionali eventi meteorologici che hanno colpito parte del territorio del Veneto nei giorni 26 e 27 settembre 2007, con particolare riferimento alla provincia di Venezia²¹. Un intenso e persistente sistema temporalesco che ha interessato con forti precipitazioni la fascia costiera centro-meridionale del Veneto compresa tra la zona del piovese nel padovano, il veneziano centrale e il basso trevigiano, portando alla crisi il sistema di raccolta e smaltimento delle acque meteoriche.

Il Commissario delegato ha quindi agito in un primo fronte legato al carattere emergenziale dell'incarico, procedendo a una puntuale quantificazione dei danni occorsi ai beni privati e alle opere pubbliche, ad avviare gli interventi più urgenti, nonché a programmare la realizzazione di adeguate opere di carattere

strutturale per la prevenzione dei rischi idrogeologici e idraulici dipendenti dall'inadeguatezza dei sistemi preposti all'allontanamento e allo scolo delle acque di superficie. Un'azione mirata con facoltà di avvalersi di procedure accelerate e semplificate per produrre atti e approvare progetti, anche con lo strumento della Conferenza dei Servizi.

Non meno significativo risulta il fronte legato alla prevenzione in caso di nuove edificazioni. Agendo attraverso l'emanazione di specifiche Ordinanze e "linee guida", sono state fornite ai tecnici abilitati indicazioni utili per un corretto dimensionamento degli invasi di laminazione, con metodi di calcolo differenziati in ragione dell'entità delle superfici e dei volumi edificatori che caratterizzano l'intervento. Con l'obiettivo, comunque, di mantenere al punto di recapito dell'area trasformata una portata non superiore a quella antecedente la costruzione, tipica di un'area agricola o area a verde.

Pertanto, nei comuni soggetti alle disposizioni commissariali²² si rende oggi obbligatoria una verifica di compatibilità idraulica a tutti gli interventi edificatori di volumetria superiore a 1000 m³, o comunque comportanti una riduzione della superficie permeabile di per-

²¹ Su questo argomento vi è una specifica scheda nel capitolo 11 "Climatologia".

²² Si tratta di 13 comuni in provincia di Venezia (Campagna Lupia, Campolongo Maggiore, Camponogara, Cavallino Treponti, Chioggia, Dolo, Fiesso d'Artico, Fossalta di Piave, Marcon, Mira, Quarto d'Altino, Spinea, Venezia), 5 in provincia di Padova (Arzergrande, Codevigo, Correzzola, Piove di Sacco, Polverara) e 7 in provincia di Treviso (Casale sul Sile, Casier, Mogliano Veneto, Preganziol, Roncade, San Biagio di Callalta, Silea), per un totale complessivo di 25 comuni.

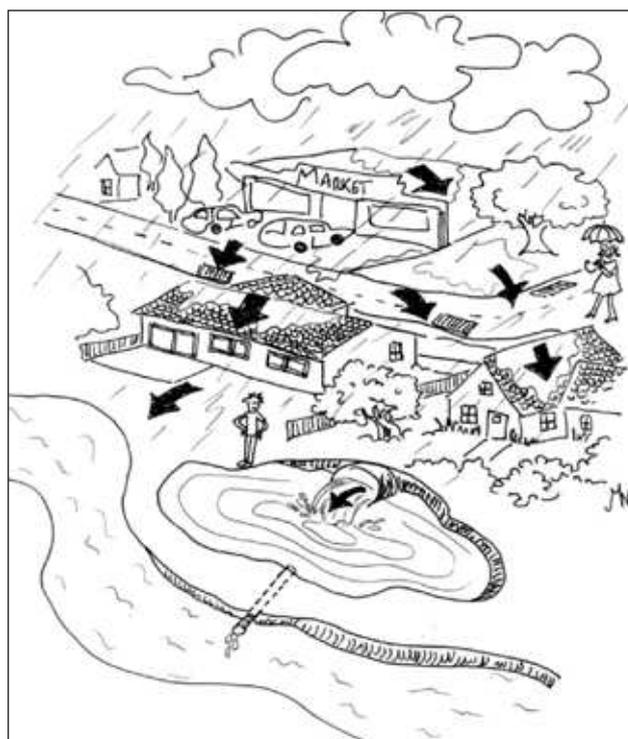


Fig. 18.19 - L'invarianza idraulica.

tenenza superiore a 200 m². Disposizioni valide, peraltro, anche nei casi di “demolizione con ricostruzione”, considerati a tutti gli effetti come nuovi interventi edilizi, non potendo quindi scomputare né la superficie, né il volume del fabbricato preesistente.

Per tali aree si pongono in tal modo limiti maggiormente restrittivi rispetto a quelli già individuati dalla normativa regionale di settore, in particolare con riferimento alle Delibere di Giunta regionale n° 3637/2002, n° 1322/2006 e s.m.i., che forniscono le modalità operative e le indicazioni tecniche in ordine alla valutazione di compatibilità idraulica per la redazione degli strumenti urbanistici.

In definitiva sembra utile esemplificare con qualche cifra l'effettiva “rivoluzione” che è in atto nel dimensionamento dei sistemi di raccolta delle acque meteoriche. Si tenga conto, infatti, che, per garantire al punto di recapito finale di un'area edificata una portata dell'ordine di 10 litri al secondo per ettaro (valore rappresentativo del deflusso superficiale di un'area agricola), risulta necessario realizzare mediamente invasi per 500 m³ per ettaro, tramite aree a verde ribassate e l'impiego di tubazioni circolari e scatolari di varie dimensioni.

Un dato considerevole se rapportato a quanto è possibile riscontrare normalmente nelle aree urbane, con valori anche inferiori ai 50 m³ per ettaro.

LE CIFRE DELLA TRASFORMAZIONE URBANISTICA: LE CONTRADDIZIONI DEL PASSATO E LE PROSPETTIVE

Andrea De Götzen - Consorzio di bonifica Veneto Orientale

Quando si discute di impermeabilizzazione del territorio, di consumo del suolo, come una delle principali cause del dissesto idrogeologico, in realtà si ha solo una percezione piuttosto vaga di cosa possa significare in termini quantitativi e quanto possano influire tali modificazioni nella progressione degli eventi alluvionali, che ormai si ripetono con sempre maggiore frequenza. Si riportano, pertanto, alcune cifre che aiutano a comprendere l'entità del fenomeno, sia a livello nazionale, che in riferimento al territorio veneto e che stupiscono ancor più considerando che si tratta di un'evoluzione pronunciata non lontana nel tempo, ma piuttosto recente.

Nell'Atlante dei tipi geografici dell'Istituto Geografico Militare (2004), dal 1950 al 2000 la riduzione della superficie agricola utilizzata (SAU) in Italia è stimata in 5 milioni di ettari, di cui più di 2 milioni di ettari a causa dell'urbanizzazione e delle relative infrastrutture.

Ma osservando i dati ISTAT fra il 1990 e il 2005 si ha una riduzione della SAU di 3 milioni e 663 mila ettari, un'area più vasta della somma di Lazio e Abruzzo: si è così convertito e cementificato il 17,06 % del suolo agricolo. Per il Veneto, in quinta posizione fra le Regioni dell'Italia, la contrazione della SAU ammonta al 12,32%.

Nel 2007, secondo l'Agenzia del Territorio, pur con una flessione dell'1% circa rispetto al 2006, si sono registrate in Italia 732.157 nuove unità immobiliari, di cui 309.379 residenziali.

Secondo il CRESME (Centro economiche sociali di mercato per l'edilizia e il territorio) nel 2008 si sono ultimati 59.000 nuovi edifici residenziali, con una volumetria complessiva di quasi 126,2 milioni di metri cubi, per un totale di circa 320.000 abitazioni.

Quindi, l'espansione dell'urbanizzazione ha conosciuto un'accelerazione senza precedenti proprio negli ultimi decenni, in particolare nel Mezzogiorno, nel Lazio e nel Veneto.

Basti pensare che nel periodo 1995-2006 i Comuni italiani hanno rilasciato in media permessi a costruire per 3,1 miliardi di metri cubi, pari a oltre 261 milioni di metri

cubi l'anno, di cui poco più dell'80% per la realizzazione di nuovi fabbricati e il rimanente per l'ampliamento dei fabbricati esistenti. L'edilizia residenziale, con una media di 106 milioni di metri cubi l'anno, rappresenta il 40% di questo flusso, ma nel triennio 2006÷2009 il flusso dei volumi autorizzati ha raggiunto i 284 milioni di metri cubi l'anno, e la quota dell'edilizia residenziale è salita al 45,2%.

Negli undici anni dal 1991 al 2001 l'ISTAT registra un incremento delle superfici urbanizzate del 15%, ben 37,5 volte maggiore del modesto incremento demografico degli stessi anni (0,4%), mentre nei sette anni successivi l'incremento delle superfici edificate è stato del 7,8%. Si ha quindi un andamento dell'urbanizzazione autonomo rispetto agli andamenti demografici ed economici.

Nel Veneto, secondo dati ISTAT, a partire dal 2001 si è verificato un boom edilizio che non ha eguali nel passato. Nel periodo 1978÷1985 in media ogni anno sono stati edificati 10,9 milioni di m³ di capannoni; tale valore aumenta di 18,3 milioni di m³ per anno tra il 1986 e il 1993, mentre negli otto anni successivi sono stati superati i 20 milioni di m³ per anno. A partire dal 2000 si ha un incremento senza precedenti: 24 milioni nel 2000, 27 milioni nel 2001, 38 milioni nel 2002 e altri 24 nel 2003, per un totale di 113 milioni di metri cubi in solo quattro anni.

Sempre nel Veneto anche l'edilizia residenziale conosce un incremento notevole. Se negli anni '80 e '90 mediamente ogni anno venivano rilasciate concessioni edilizie pari a circa 9-10 milioni di m³ l'anno, nel 2002 i m³ sono stati 14,3, nel 2003 15,7 e nel 2004 17,7. Il volume di nuove abitazioni per cui è stata rilasciata concessione edilizia dal 2001 al 2004 è pari a circa il 12% delle abitazioni esistenti nel 2001 nel Veneto. Si può stimare una quantità di alloggi per circa 600.000 nuovi abitanti, per un incremento della popolazione del 13% rispetto al 2000, contro l'effettivo incremento della popolazione dato dall'immigrazione a un tasso leggermente inferiore all'1% annuo.

Analizzando un periodo tra 1983 e il 2006 le tre Province nel Veneto che hanno visto l'incremento maggiore in termini di consumo del suolo sono Verona, Venezia e Padova. In particolare per quanto attiene alla provincia di Venezia, sempre nello stesso periodo, si ha un dato pari a circa 7.168 ettari, il 20% della superficie già urbanizzata e il 2,90% della superficie provinciale complessiva.

Le cause di questo tasso esponenziale di consumo del suolo sono molteplici. Attengono anche a modifiche di carattere legislativo che, pur perseguendo finalità di un miglioramento nella gestione economica e amministrativa degli Enti locali, hanno prodotto ripercussioni forse inattese.

E' il caso, per esempio, dell'evoluzione normativa riguardo agli "oneri di urbanizzazione", che si intendono i contributi corrisposti al Comune da chi costruisce un nuovo edificio o modifica la destinazione d'uso di un edificio preesistente. La *ratio*, indiscutibilmente corretta, è che chiunque costruisca nuovi edifici deve partecipare alle spese che il Comune dovrà affrontare, in particolare nelle aree di nuova urbanizzazione, per fornire i servizi necessari (acqua, gas, strade, fognature, e così via). Questo principio fu affermato nel modo più chiaro dalla Legge Bucalossi (Legge n° 10/1977, art. 12), secondo cui i proventi da oneri di urbanizzazione dovevano essere obbligatoriamente utilizzati dai Comuni per le opere di urbanizzazione primaria e secondaria, il risanamento di complessi edilizi compresi nei centri storici, le spese di manutenzione ordinaria del patrimonio comunale. Per dirla in due parole insomma secondo la legge Bucalossi gli oneri di urbanizzazione vanno spesi per quel che sono, cioè per coprire le spese di urbanizzazione e per null'altro.

Questo principio, rimasto in vigore per oltre vent'anni, fu abrogato nel Testo unico per l'edilizia (D.P.R. n° 380/2001, art. 136). Si ritenne con la riforma Bassanini di estendere l'art. 7 della Legge sulla delegificazione (Bassanini *quater*, Legge n° 50/1999) a favore di una maggiore autonomia finanziaria dei Comuni, già riconosciuta dall'ordinamento delle autonomie locali del 1990 (Legge n° 142/1990) e poi da quello del 2000 (D.Lgs. n° 267/2000).

Tale norma, in sé appropriata se considerato il principio ispiratore, è stata introdotta in un periodo di difficoltà finanziarie incontrate dai Comuni per mancanza di liquidità e taglio drastico di finanziamenti da parte dello Stato. Ecco, quindi, la necessità da parte dei

Comuni di cercare nuove fonti di introito, fra cui l'ICI (imposta comunale sugli immobili) e appunto gli oneri di urbanizzazione. Questi ultimi diventano, pertanto, assimilati a qualsiasi altra imposta, perdendo ogni rapporto con la propria origine e con il proprio nome e venendo utilizzati nella spesa corrente per qualsiasi finalità. Come inevitabile conseguenza la necessità di garantire un livello minimo costante ogni anno, anzi incrementandolo in caso di necessità, a discapito di un consumo del suolo sempre più elevato. Ulteriore accelerazione a questo processo si è determinato con l'abolizione dell'ICI nel 2008, rendendo i Comuni ancor più dipendenti dagli oneri di urbanizzazione, ovvero dalle nuove costruzioni.

Dal primo gennaio 2010 la Provincia di Venezia è diventata il soggetto amministrativo competente all'approvazione dei Piani di Assetto del Territorio comunali (PAT). Tra i principi ispiratori dichiarati vi è sicuramente 'meno quantità e più qualità', la riqualificazione e il recupero dell'esistente, puntando a una maggiore attenzione al paesaggio, con l'intento di sprecare meno possibile le superfici a disposizione.

Una prospettiva che va, peraltro, inquadrata in un contesto economico generale difficile, non più in continua espansione e che richiede di rivedere le scelte strategiche di assetto del territorio e le indicazioni per uno sviluppo sostenibile e durevole dello stesso, consentendo anche di recuperare, in parte, la mancata realizzazione di adeguate infrastrutture idrauliche che avrebbero dovuto essere programmate nel tempo.

A tal proposito, infine, merita richiamare il dato relativo alla sola provincia di Venezia in termini di superfici urbanizzate: prendendo a riferimento i 7.000 ettari di impermeabilizzazione fra il 1986 e il 2006 e applicando a queste superfici un indice non certo prudenziale di 300 m³/ha di invasi di laminazione per evitare allagamenti diffusi, com'è ormai norma richiedere da qualche anno a questa parte nell'ambito di nuovi interventi edilizi, si ottiene un dato di oltre 2 milioni di metri cubi. Ovvero, la misura di quanto non si è fatto per la difesa del suolo e la causa principale dei dissesti idrogeologici a cui assistiamo. E' improbabile che si possano riconquistare questi 'spazi perduti', ma sicuramente molto si può ancora fare, soprattutto se verrà perseguito l'obiettivo di un'adeguata educazione alla trasformazione del territorio, affinché s'instauri una cultura della prevenzione in antitesi a quella dell'intervento nell'emergenza.

18.3.4. I Piani delle Acque

Un documento di pianificazione in tema di difesa idraulica del territorio, che in questo periodo risulta di stretta attualità, è il **Piano delle Acque**, previsto dall'art. 15 comma 13 delle Norme Tecniche di Attuazione del PTCP (Piano Territoriale di Coordinamento della Provincia di Venezia), così come approvato recentemente dalla Regione Veneto con la Delibera di Giunta Regionale n° 3359 del 30.12.2010. Uno strumento relativo all'assetto idraulico del territorio a

livello comunale, reso obbligatorio in sede di Piano degli Interventi (PI), quest'ultimo definito come "strumento urbanistico che, in coerenza e in attuazione del PAT (Piano di Assetto del Territorio), individua e disciplina gli interventi di tutela e valorizzazione, di organizzazione e di trasformazione del territorio programmando in modo contestuale la realizzazione di tali interventi, il loro completamento, i servizi connessi e le infrastrutture per la mobilità (art. 12 - L.R. n° 11/2004)".



Fig. 18.20 - Tracimazione del fiume Loncon (14.11.2008), (Foto: a) Volontari di Protezione Civile del Distretto del portogruarese; b) Giuseppe Canali).



Fig. 18.21 - Straripamento del Lemene a Portogruaro in località Mulini (17.03.2011).

In particolare il Piano delle Acque, secondo la normativa vigente, deve perseguire i seguenti obiettivi:

- integrare le analisi relative all’assetto del suolo con quelle di carattere idraulico, e in particolare della rete idrografica minore;
- acquisire, anche con eventuali indagini integrative, il rilievo completo della rete idraulica di prima raccolta delle acque di pioggia a servizio delle aree già urbanizzate;
- individuare, con riferimento al territorio comunale, la rete scolante costituita da fiumi e corsi d’acqua di esclusiva competenza regionale, da corsi d’acqua in gestione ai Consorzi di bonifica, da corsi d’acqua in gestione ad altri soggetti pubblici, da condotte principali della rete comunale per le acque bianche o miste.



Fig. 18.22 - Alluvione a San Giorgio al Tagliamento il maggio 2007 (Foto: Enza Vio).



Fig. 18.23 - Alluvione a Eraclea (25.09.2010).

In seguito a questa fase di analisi della rete idrografica superficiale, con individuazione delle diverse competenze amministrative, si procede alla verifica tramite adeguati strumenti di calcolo del comportamento delle reti di scolo consortili e reti di drenaggio urbano, evidenziando le aree a rischio idraulico del territorio comunale dovute alla difficoltà di deflusso per carenze della rete minore.

Tali informazioni vanno evidentemente incrociate con indagini storiche e con le conoscenze che possono derivare da tecnici locali, interlocutori "privilegiati" e incontri con la cittadinanza, utili alla mappatura di

eventuali problematiche localizzate e alla perimetrazione delle zone a rischio.

Il risultato finale è la predisposizione degli "interventi di Piano" per la risoluzione delle criticità idrauliche, corredati da apposite linee guida comunali per la progettazione e realizzazione dei nuovi interventi edificatori.

L'amministrazione comunale dispone, in tal modo, di monografie degli interventi in ordine di priorità con una stima dei costi e un predimensionamento delle opere, potendo pianificare nel tempo l'azione di riordino idraulico del territorio di competenza.

Un elemento fondante per un'adeguata predisposizione di questo documento è senza dubbio l'azione coordinata e integrata dei principali soggetti attuatori, Comuni e Consorzi di bonifica, sia in tema di valutazione dell'interazione fra reti di drenaggio urbane e reti di bonifica sia nel riconoscimento delle azioni per fornire risposte ai problemi. In tal modo si potrà garantire non solo valentissimi studi teorici, ma applicazioni tangibili e condivise, dando modo, peraltro, agli enti di livello superiore, Regione e Provincia, di predisporre strategie di finanziamento per renderli concreti, e quindi utili alla collettività, in un'epoca in cui si conferma la necessità di ridurre e contenere, in maniera consapevole e mirata, la spesa pubblica.



Fig. 18.24 - Alluvione a Torre di Mosto (17.02.2011), (Foto Giuseppe Canali).

18.3.5. Zone recentemente allagate

Nella cartografia di Tav. 16, alla scala 1:100.000, sono



Fig. 18.25 - Alluvione del 15÷17.09.2006 a Scorzé (Foto: Vigili del Fuoco di Venezia).

riportate le zone recentemente allagate dalla rete idrografica minore e dalle reti di drenaggio urbano. In nota all'inizio del presente paragrafo sono state date indicazioni del periodo di riferimento degli allagamenti per ciascun territorio di pertinenza dei consorzi di bonifica; indicativamente si tratta del decennio 2000 - 2009.

Viene qui fatta una sintetica descrizione di tali aree, distinte per distretto; in proposito si fa riferimento ai Distretti di Protezione Civile²³, che sono: portogruarese, sandonatese, veneziano, Marcon e Quarto d'Altino (spesso considerati assieme al Veneziano, stante la loro limitata estensione territoriale), miranese, riviera del Brenta e cavarzerano - chiozzotto (o clodiense).

18.3.5.1. Portogruarese

Il territorio del portogruarese risulta complessivamente colpito da numerosi ed estesi allagamenti, sia derivanti da tracimazioni di corsi d'acqua minori (in particolare il Versiola a Gruaro, il Fosson - Fig. 18.20

²³ La suddivisione in distretti di Protezione Civile è stata fatta dalla Regione Veneto, sentite le Province, con apposita D.G.R.V. Nel caso della provincia di Venezia la suddivisione ricalca sostanzialmente quella 'storica', già usata per i Comprensori negli anni '70, in quanto considerata tuttora valida sia per gli aspetti fisico-territoriali che per quelli socio-economici.



Fig. 18.26 - Alluvione del 15÷17.09.2006 a Scorzé; in primo piano il fiume Dese (Foto: Vigili del Fuoco di Venezia).



Fig. 18.27 - Alluvione del 26.09.2007 a Mestre in via Costa.



Fig. 18.28 - Alluvione del 26.09.2007 a Mestre in via Corridoni.



Fig. 18.29 - Alluvione del 18.05.2008 a Calcroci di Camponogara.

- e il Loncon nei comuni di S.Stino di Livenza e Annone Veneto) che da fenomeni localmente concentrati e molto intensi che colpiscono le aree urbane. Risulta particolarmente critica la situazione nei comuni di Concordia Sagittaria, Portogruaro e San Michele al Tagliamento, dove, per quest'ultimo, nel maggio del 2007 un evento meteorologico intenso ha provocato

ingenti danni, soprattutto nella zona settentrionale, la frazione di San Giorgio (Fig. 18.22).

Risulta invece meno colpita la parte centro-meridionale, ovvero le aree della bonifica "storica", e quella costiera, anche se non mancano -ormai con una certa regolarità- eventi alluvionali che interessano il centro



Fig. 18.30 - Alluvione del 18.05.2008 nel Distretto "Riviera del Brenta".



Fig. 18.31 - Alluvione del 18.05.2008 nel Distretto "Riviera del Brenta".



Fig. 18.32 - Alluvione del 18.05.2008 nel Distretto "Riviera del Brenta".



Fig. 18.33 - Alluvione del 13÷14.09.2008 a Chioggia - Sant'Anna.



Fig. 18.34 - Alluvione del 13÷14.09.2008 a Chioggia - Brondolo, via Venturini.

balneare di Bibione, che richiede interventi di carattere strutturale relativi alla rete di drenaggio urbana.

18.3.5.2. Sandonatense

Il sandonatense appare essere il territorio provinciale con minori allagamenti, e meno estesi; interessano però soprattutto l'area costiera, intensamente edificata. Nel periodo nel quale sono stati cartografati gli allagamenti non si sono però verificati eventi di carattere eccezionale, quale quelli verificatisi in tutti gli altri distretti in cui si sono avute in poche ore piogge

pari a un'elevata quota annua. Risale infatti a settembre 2010 un importante evento calamitoso verificatosi principalmente in comune di Eraclea.

18.3.5.3. Veneziano, miranese, riviera del Brenta

Su quasi tutto il territorio considerato sono presenti vaste aree che sono state allagate (Figg. 18.25÷32), anche con eventi di carattere straordinario, quali quelli del 15÷17 settembre 2006 nel miranese (e soprattutto a Scorzé) fino a Mestre e, il più importante, quello che ha colpito Mestre con vari altri comuni il 26 settembre 2007²⁴.

E' però il caso di rilevare che i territori comunali posti in gronda lagunare di Campagna Lupia, Camponogara e Campolongo Maggiore sono quelli che hanno la più elevata densità e frequenza di aree allagate, e ciò sia

²⁴ Questo evento è stato ampiamente trattato nella scheda "Analisi meteo-climatica dell'evento pluviometrico del 26 settembre 2007 nel veneziano" all'interno del capitolo 11 "Climatologia". Si rinvia anche a quanto scritto nel § 18.3.3 di questo stesso capitolo.



Fig. 18.35 - Alluvione del 10.11.2010 a Chioggia, Punta Gorzone.

per eventi meteorici diretti sia perché vi defluiscono le acque provenienti dai territori posti idraulicamente a monte che trovano ostacolo al loro defluire sia dagli argini del Novissimo sia, spesso, per le condizioni di marea lagunare. Ciò provoca anche una maggior persistenza delle acque e quindi sostanziali danni maggiori al territorio.

Inoltre, in questi ultimi anni sono questi i comuni a essere stati colpiti più di ogni altro territorio veneziano da eventi meteorici estremi.

18.3.5.4. Cavarzerano - chioggiotto

Le aree allagate nel periodo di riferimento si concentrano, in questo distretto, principalmente nella sua parte orientale, e in particolare lungo la zona di gronda lagunare e costiera.

Anche qui è da rilevare che l'area di Chioggia (con anche quella di Cavarzere) è stata colpita da almeno un evento definibile come eccezionale (13÷14.09.2008) per la quantità concentrata di pioggia che è caduta.

I PIANI COMUNALI DELLE ACQUE

Pier Francesco Ghetti - Centro Internazionale Civiltà dell'Acqua

Provincia e Civiltà dell'Acqua hanno recentemente presentato la pubblicazione "I piani comunali delle acque. Strumenti di sicurezza idraulica e opportunità per la rigenerazione del territorio", da loro redatta, che fa il punto sulla tematica in questione.

Viene qui riportato il testo della "Prolusione" del prof. Pier Francesco Ghetti, Presidente del Centro Internazionale Civiltà dell'Acqua.

Il governo delle acque in un territorio fortemente urbanizzato come quello della pianura veneta richiede costante capacità di conoscenza e intervento, in particolare dopo i segnali preoccupanti connessi alla serie di eventi alluvionali più o meno ampi degli ultimi anni.

Con sempre maggior frequenza si stanno verificando eventi meteorici brevi ma di grande intensità, probabilmente legati al cambiamento climatico in atto, che mettono a dura prova un territorio e un reticolo idrografico naturale e artificiale in cui la manutenzione costante e il potenziamento delle capacità di drenaggio e accumulo sono state troppo sottovalutate.

In particolare nelle aree urbane di pianura, ma anche in zone agricole, la funzione capillare del drenaggio della rete di piccoli corsi d'acqua, di fossa-

ti e condotte di acque bianche e nere non è stata monitorata e non si sono previsti gli effetti di eventi meteorici di particolare intensità, consentendo la costruzione di interi quartieri o di opere senza la dovuta attenzione alla sicurezza idraulica.

Nella terraferma veneziana dopo gli allagamenti di alcune aree urbane durante il 2006 e il 2007 si è dovuti ricorrere alla figura del "commissario" per attivare una serie di interventi di mitigazione del danno. Con il mese di settembre 2011 la sua attività si è conclusa.

A questo punto saranno i Piani delle Acque comunali, secondo le prescrizioni del PTCP, a rappresentare la summa delle "buone pratiche" per il monitoraggio del sistema idrico, la definizione dei criteri di sicurezza, e tutto quel complesso di azioni virtuose che dovranno garantire la sicurezza del territorio.

Pianificazione dell'uso del territorio, manutenzione dei reticoli idrografici, opere idrauliche sostenibili, assieme a una forte azione di controllo dovranno costituire le azioni neces-

sarie per evitare i danni maggiori legati agli eventi meteorici di particolare intensità.

Ma soprattutto sarà necessario affermare una nuova "cultura del governo dell'acqua" capace di ripristinare un rapporto virtuoso con questa risorsa.



STUDIO DEL RISCHIO IDRAULICO DELLE AREE SOTTOPOSTE A BONIFICA NEL TERRITORIO DELLA PROVINCIA DI VENEZIA

Andrea Defina - Università di Padova, Dipartimento IMAGE

L'Università di Padova e, più in particolare, il Dipartimento di Ingegneria Idraulica, Marittima, Ambientale e Geotecnica (IMAGE), ha stipulato con la Provincia di Venezia, Settore Protezione Civile e Difesa del Suolo, una convenzione "per la collaborazione alla pianificazione provinciale e comunale di protezione civile, con particolare riferimento al rischio idraulico". Lo scopo di queste indagini è quello di valutare lo stato di salute in cui versano attualmente le reti di drenaggio minori, controllate dai Consorzi di bonifica e ricadenti nel territorio della Provincia di Venezia con particolare riferimento agli aspetti legati alla pericolosità idraulica.

La convenzione prevede che il lavoro venga sviluppato in fasi successive.

A una prima fase di inquadramento generale e raccolta di dati e informazioni segue una seconda fase nella quale è previsto che siano effettuate la schematizzazione delle reti idrauliche e del territorio adiacente e le simulazioni della propagazione di piene ipotetiche caratterizzate da diversa intensità. Sulla base dei risultati forniti dal modello sarà quindi valutata la pericolosità idraulica attraverso l'individuazione delle aree a rischio e la visualizzazione di sintesi dei dati elaborati.

A questa fase farà seguito il perfezionamento e l'aggiornamento della modellazione predisposta e quindi degli elaborati attraverso la condivisione dei risultati ottenuti e a mezzo di confronto con le varie Istituzioni competenti nel campo del rischio idraulico e con i Comuni ricadenti nella provincia di Venezia.

Per queste operazioni di affinamento sono previste due fasi successive, nella prima delle quali si farà riferimento all'area nord-orientale della provincia (portogruarese e sandonatese), nella seconda si prenderà in considerazione l'area centro-meridionale della provincia (veneziano, miranese, riviera del Brenta, cavarzeranochioggiotto)

Attualmente è stata ultimata la fase intermedia del lavoro. Sono state infatti effettuate le schematizzazioni delle reti e dei territori potenzialmente allagabili suddivise per ambiti omogenei (in particolare, per la suddivisione territoriale si è fatto riferimento alle aree gestite dai diversi Consorzi di bonifica che ricadono in provincia di Venezia). Sono stati quindi illustrati i risultati forniti dal modello relativamente alla propagazione di piene ipotetiche, più o meno gravose, evidenziando gli eventuali fenomeni di esondazione e l'efficacia idraulica della rete con particolare attenzione alle caratteristiche di funzionamento degli impianti idrovori.

Nell'ultima fase, dopo il confronto con i tecnici dei Consorzi di bonifica interessati, saranno approntate le necessarie correzioni e gli adeguamenti del modello per migliorarne le capacità predittive sia relativamente ai fenomeni di allagamento che per quanto riguarda il funzionamento degli impianti idrovori e il sistema di drenaggio nel suo complesso.

Parallelamente a queste attività sarà portata a termine

la modellazione idrologica in modo da poter effettuare una stima delle portate di piena in ingresso alla rete su base probabilistica (associando un tempo di ritorno a ciascun evento in relazione alla probabilità di accadimento determinata per gli eventi pluviometrici) e facendo specifico riferimento al coefficiente di deflusso valutato col metodo SCS (si utilizzeranno, a questo proposito, le indicazioni contenute nel recente "documento propeedeutico ai piani generali di bonifica e tutela del territorio dei consorzi di bonifica del veneto" redatto in tre volumi ed edito dalla Regione Veneto).

Saranno infine effettuate le nuove simulazioni ricostruendo, su base probabilistica e per prefissati tempi di ritorno, la situazione in cui versa il territorio della provincia, limitatamente alle reti minori controllate dai Consorzi di bonifica e corrispondenti a quelle già illustrate nella seconda fase.

Una volta ultimato questo studio, i suoi risultati saranno presentati da Provincia e Dipartimento IMAGE e saranno consultabili anche nei rispettivi siti web.



EFFETTI DELLE DIRETTIVE COMUNITARIE SUL RISCHIO IDRAULICO ALLA SCALA LOCALE

Antonio Rusconi - Gruppo 183 e Università IUAV, Venezia

Il territorio della Provincia di Venezia presenta singolari caratteristiche per quanto riguarda la pericolosità e il rischio idraulico. Qui infatti trovano recapito i tratti terminali e le foci dei principali fiumi del Nord-Est, che formano una complessa rete idrografica di acque pensili e che attraversano comprensori in gran parte posti sotto il livello medio del mare. Le opere di difesa idraulica e di prosciugamento delle acque scolanti nel territorio provinciale richiedono continui adeguamenti per gli effetti delle trasformazioni introdotte nel territorio e per gli irreversibili processi in atto dell'innalzamento del livello medio del mare e della subsidenza (naturale e antropica) soprattutto negli ambiti lagunari, estuari e costieri fortemente instabili.

Il riferimento idrologico più importante per la valutazione del rischio idraulico nel Nord-Est rimane l'evento del novembre 1966. In quella catastrofica circostanza, le precipitazioni, per intensità, durata ed estensione, furono in effetti straordinarie e, a tutt'oggi, insuperate, precedute da un bimestre di abbondanti piogge e da temperature elevate che sciolsero le nevi cadute nelle precedenti settimane. Le conseguenze furono la concomitanza delle piene eccezionali di tutti i fiumi veneti con una mareggiata di proporzioni mai viste: la pianura veneta fu sconvolta dagli allagamenti causati dalle numerosissime rotte arginali dei fiumi, delle reti della bonifica e delle difese marine.

L'alluvione provocò in tutte le province trivenete allagamenti per complessivi 173.000 ettari. Tra queste la provincia di Venezia, con 52.000 ettari di territorio alluvionato, pari a quasi un terzo del totale, fu la maggiormente colpita dal tragico evento, diventando un vero e proprio "mare d'acqua", dolce e salata.

Successivamente a quegli eventi, dopo un ventennio di dibattiti e di trasferimenti di competenze dallo Stato alle Regioni anche nel settore del governo delle acque, dell'urbanistica e dell'assetto del territorio, il più importante strumento legislativo introdotto nel nostro Paese per fronteggiare il rischio idrogeologico e la tutela quali-quantitativa delle acque è stata l'entrata in vigore della legge n° 183 del 1989 sulla difesa del suolo.

La legge ha definito gli obiettivi della difesa del suolo, comprendendo gli aspetti della difesa dalle acque, della difesa delle acque e della tutela dei connessi aspetti ambientali. Ha suddiviso tutto il territorio del Paese in bacini idrografici di rilievo nazionale, interregionale e regionale quali ambiti territoriali di riferimento per la difesa del suolo.

Ha istituito le Autorità di Bacino con il compito di redigere il piano di bacino, strumento normativo-programmatico per il perseguimento delle finalità prefissate.

A causa della complessa idrografia, il territorio della Provincia di Venezia si trovava suddiviso in un eccessivo numero di Soggetti istituzionali preposti all'attuazione della difesa del suolo, comprendenti due Autorità di Bacino di rilievo nazionale (Adige e Alto Adriatico), due Autorità di Bacino sovraregionali (Lemene e Fissero Tartaro), l'Autorità di bacino regionale del Sile e della pianura tra Piave e Livenza, la diretta competenza della Regione nel bacino scolante lagunare e il Magistrato alle Acque presente sulla laguna di Venezia.

Questa circostanza ha reso particolarmente difficile l'attuazione della legge sulla difesa del suolo, sia negli aspetti della pianificazione di bacino, sia in quelli riguardanti la diretta gestione del governo delle acque, da parte delle Amministrazioni competenti sul territorio (Regione, Consorzi di Bonifica, Autorità d'Ambito Ottimale, Provincia, Comuni ecc.).

Con le riforme introdotte dalle Direttive comunitarie a partire dal 2000 il nostro Paese ha definito un nuovo assetto istituzionale che con molte difficoltà sta tentando di attuare un nuovo modello correttivo di *governance* dell'acqua.

Con il Testo Unico Ambientale n° 152 del 2006, il nostro Paese ha recepito la Direttiva quadro Acque n° 2000/60, e il territorio nazionale è stato suddiviso in otto Distretti Idrografici, ottenuti accorpando i diversi bacini idrografici, cui sono preposte le Autorità di Bacino distrettuali che hanno il compito di redigere il piano di bacino distrettuale, composto dal piano di gestione delle acque e dal piano di assetto idrogeologico.

Pur senza dare concreto avvio a questa nuova impostazione organizzativa, le vecchie Autorità di Bacino e le Regioni, nel 2010, hanno redatto i piani di gestione delle acque secondo gli indirizzi comunitari e facendo riferimento soprattutto ai piani regionali di tutela delle acque, finalizzati al raggiungimento entro il 2015 del buon stato ambientale di tutti i corpi idrici.

Nel corso del 2010, il nostro Paese, con il D.Lgs. n° 49/2010, ha altresì recepito la Direttiva comunitaria n° 2007/60, relativa alla gestione del rischio di alluvioni, che va quindi a costituire un *unicum* con la Direttiva Acque "madre", riferendosi alla gestione integrata delle acque (protezione, utilizzo e rischio di alluvioni).

In attesa dell'avvio delle Autorità Distrettuali, alle

Autorità di Bacino nazionali e alle Regioni spetta la redazione dei *piani di gestione del rischio di alluvioni* che si aggiungono all'insieme dei piani facenti parte del piano di bacino distrettuale definito dal Testo Unico ambientale del 2006.

I principali adempimenti indicati dalla Direttiva "Alluvioni" prevedono la valutazione preliminare del rischio di alluvioni, entro il 2011, la redazione delle mappe della pericolosità e del rischio di alluvioni, entro il 2013, e la redazione del piano, entro il 2015.

E' importante evidenziare che sia la Direttiva Alluvioni sia la ricordata legge di recepimento hanno previsto che queste scadenze possano essere evitate se le rispettive attività siano state già svolte nell'ambito delle previgenti norme nazionali e se i relativi strumenti di pianificazione approvati siano in grado di soddisfare i principali requisiti richiesti.

In effetti, anche con specifico riferimento alla realtà del territorio della Provincia di Venezia, i piani di bacino avviati e/o approvati in passato, tra cui i noti piani stralcio per l'assetto idrogeologico (PAI), pur costituendo un prezioso e fondamentale contributo, sono datati e presentano molti limiti e carenze, tali da non poter essere considerati "in regola" con i requisiti richiesti dalla Comunità Europea.

Alcuni non sono ancora stati completati, dopo oltre un decennio, in altri casi, come quello del bacino scolante, il PAI non è stato mai avviato, oppure le mappe si "fermano" ai confini amministrativi delle rispettive Autorità di Bacino. Nell'insieme, i diversi numerosi PAI sono stati impostati con criteri diversi, all'interno dello stesso territorio provinciale, si riferiscono solamente alle reti idrografiche principali, non considerando le reti secondarie di bonifica e quelle di fognatura, tanto che la Regione ha introdotto con propri provvedimenti normativi l'obbligo dello studio della *compatibilità idraulica* negli strumenti di pianificazione urbanistica.

Infine va sottolineato che i ricordati diversi piani stralcio di bacino per l'assetto idrogeologico, compresi quelli periodicamente redatti nell'ambito della

Protezione Civile, non posseggono i requisiti richiesti soprattutto per quanto riguarda la partecipazione e la valutazione ambientale strategica (VAS), e quindi s'impongono la loro verifica e il loro adeguamento, con regia unitaria, alla scala del Distretto Idrografico.

Per il perseguimento di questo obiettivo molto complesso è indispensabile il coinvolgimento di tutti i Soggetti Pubblici comunque competenti (Consorzi di bonifica, Province ecc.) al fine di trattare anche gli aspetti di massimo dettaglio, assicurando una copertura alla necessaria scala "frattale" del piano di bacino distrettuale.

Con la forma delle "intese" tra le Province e le Autorità di Bacino Distrettuali (D.Lgs. n° 112/1998), in tema di conferimento di funzioni e compiti amministrativi dello Stato alle Regioni e agli Enti locali, anche gli strumenti di pianificazione di questi Soggetti potranno essere equiparati a veri e propri piani stralcio del complesso piano di gestione del rischio di alluvioni.

Ma questo obiettivo richiede preliminarmente il deciso riavvio della riforma della normativa in tema di difesa del suolo e governo delle acque.



19 RISCHIO DA MAREGGIATA

GIORGIO FONTOLAN¹, ANNELORE BEZZI¹, SIMONE PILLON¹

19.1. IL RISCHIO DA MAREGGIATA

19.1.1. Introduzione

La possibilità di esondazione marina lungo la fascia costiera della provincia di Venezia è per gran parte determinata dalle basse quote del terreno² e dalla limitata capacità dissipativa delle spiagge attuali, compromesse dall'urbanizzazione e dalla forte pressione antropica. La vulnerabilità del territorio immediatamente retrostante al litorale è già stata constatata in più occasioni, specialmente durante la mareggiata del novembre 1966 (Fig. 19.1). La maggior parte delle difese costiere oggi presenti fu infatti realizzata a seguito dei danni arrecati da quell'evento e in virtù delle oggettive condizioni di pericolo di molti centri residenziali, spesso ubicati a quote prossime o inferiori al livello medio del mare. Di qui la necessità di procedere ad una valutazione del rischio da mareggiata sull'intero tratto costiero, che tenesse conto in particolar modo delle condizioni morfodinamiche del litorale, fornendone un quadro il più possibile completo ed aggiornato.

Nella Tav. 16, in scala 1:100.000, viene rappresentato il rischio da mareggiata unitamente al rischio idraulico del territorio provinciale.

Per il concetto di "rischio" esistono varie definizioni e altrettante metodologie di valutazione³. Secondo la terminologia proposta dall'*United Nations International Strategy for Disaster Reduction* (UNISDR, 2004) con il termine "rischio" si fa riferimento alle "probabilità di conseguenze dannose o perdite attese (morti, danni alle proprietà, distruzione dei mezzi di sostentamento e di attività economiche, danni ambientali) risultanti dall'interazione tra la pericolosità naturale o indotta dall'uomo e le condizioni di vulnerabilità".



Fig.19.1 - Mareggiata in prossimità di piazza Milano a Jesolo 1966 (Assessorato alla Cultura del Comune di Jesolo - Fondo Fotografico Giuseppe Artesi).

Per "pericolosità" o "pericolo" si intende "un evento fisico o un'attività umana potenzialmente calamitosi che possono causare danno o perdita di vite umane, danni ai beni, sconvolgimenti sociali ed economici o degradazione ambientale". La pericolosità è anche funzione del tempo di ritorno dell'evento, ossia della probabilità che in una zona si verifichi un potenziale evento dannoso con una certa intensità.

Altro importante parametro da definire è la "vulnerabilità", che esprime "la condizione determinata da fattori fisici, sociali, economici e ambientali che concorrono ad aumentare la suscettibilità di una comunità nei confronti dell'evento dannoso".

Nell'applicazione pratica di metodologie di valutazione di rischio, si possono individuare situazioni in cui la pericolosità è elevata ma il rischio è nullo o quasi, come ad esempio nelle zone non antropizzate. Ne consegue che il fenomeno fisico, espresso attraverso la pericolosità, perché sia dannoso dev'essere inserito nel contesto territoriale in termini di presenze umane, attività ed infrastrutture. Questi ultimi costituiscono gli elementi a rischio, cioè il valore esposto all'evento.

Per quantificare le conseguenze derivanti dal manifestarsi di un evento dannoso, cioè la perdita attesa, è sufficiente moltiplicare la vulnerabilità per gli elementi a rischio, ottenendo così il rischio specifico.

Il rischio totale è definito quindi attraverso la pericolosità "P", la vulnerabilità "V" e il valore esposto "E", che è associato all'attività antropica.

In ambito territoriale esistono diversi percorsi metodologici di analisi del rischio, che tuttavia presuppongono sempre una preliminare e attenta analisi della ricorrenza del pericolo e della sua intensità, della vulnerabilità intrinseca del sistema ambientale a sopportare l'evento dannoso e dell'assetto del territorio, in termini di presenze e attività umane.

19.1.2. Metodologia applicata

La presente metodologia di valutazione del rischio da mareggiata lungo i litorali sabbiosi della provincia di Venezia è stata ideata e applicata da FONTOLAN *et al.* nel 2001, per la prima stesura del *Programma di Previsione e Prevenzione in materia di Protezione Civile della Provincia di Venezia*, successivamente aggiornato sia nei dati utilizzati sia attraverso un affinamento metodologico (FONTOLAN *et al.*, 2005; 2006; 2007a). La procedura metodologica, i coefficienti di calcolo e

¹ Università degli Studi di Trieste, Dipartimento di Matematica e Geoscienze.

² Vedi anche il capitolo 1 "Microrilievo" e la cartografia di Tav. 1.

³ Vedi anche i capitoli 10 "Sismicità" e 18 "Rischio idraulico".

la tipologia di variabili impiegate sono stati ripresi e utilizzati in diverse aree geografiche (FONTOLAN *et al.*, 2002, 2007b; SIMEONI *et al.*, 2003; CORBAU *et al.*, 2009; MARTINELLI *et al.*, 2010) e nel progetto *Interreg IIIc Beachmed-e* (sottoprogetto MedPlan), talora con erroneo richiamo al solo metodo di GORNITZ *et al.* (1994). Il metodo segue un percorso analitico che conduce alla definizione di "P", "V" ed "E", attraverso la creazione di un *database* territoriale e di alcune semplici procedure di calcolo.

Per motivi che verranno in seguito esposti in maniera più approfondita (cfr. § 19.1.3.1.), si è assunto un pericolo uniforme, valutato sulla ricorrenza delle mareggiate alla scala temporale delle osservazioni esistenti. Il nodo fondamentale della metodologia di valutazione è rappresentato dalla quantificazione della vulnerabilità, che nel caso specifico è stata definita come misura della capacità di attenuazione delle onde da parte delle spiagge e/o delle strutture difensive esistenti sul litorale ed è stata quantificata attraverso due passaggi:

- **Vulnerabilità potenziale** ("Vp"): rappresenta la vulnerabilità del litorale, nell'ipotesi che non esista alcun tipo di difesa (morbida o rigida) dall'ingressione marina, quantificata attraverso una serie di variabili che definiscono le condizioni morfologiche ed evolutive della costa;
- **Vulnerabilità reale** ("Vr"): rappresenta la vulnerabilità potenziale mitigata dall'effetto della presenza di difese, descritte attraverso una serie di variabili atte a definirne la capacità dissipativa.

La struttura logica è data quindi dal percorso:

Vulnerabilità potenziale "Vp" ⇒ vulnerabilità reale "Vr"
⇒ rischio "R"

Dei diversi approcci possibili per quantificare la vulnerabilità è stato scelto quello tra i più largamente impiegati in campo ambientale (GORNITZ *et al.*, 1994; CIVITA, 1994; CIVITA & DE MAIO, 1997), rappresentato da una regressione multipla del tipo:

$$V = v_1 k_1 + v_2 k_2 + v_3 k_3 + \dots + v_n k_n$$

dove V rappresenta l'indice di vulnerabilità, v il valore della variabile e k il peso a essa assegnato, e può essere facilmente ricondotto a una struttura logica tipicamente utilizzata nell'ambito dei GIS.

Attraverso una serie di test, GORNITZ *et al.* (1994) hanno verificato che l'algoritmo basato sulla somma delle variabili è meno sensibile a errori di omissione o di classificazione dei valori rispetto agli algoritmi basati sul prodotto delle variabili stesse. L'ulteriore vantaggio del metodo è quello di essere indipendente dal numero di casi, una volta stabilite con precisione le variabili e i pesi. Questo significa che, a differenza degli approcci basati sull'analisi statistica multivariata (DAL CIN & SIMEONI, 1994; JELGERSMA *et al.*, 1993), qualsiasi ulteriore caso (ad esempio un nuovo tratto costiero da codificare) è facilmente indicizzabile mediante calcolo svincolato dall'insieme dei dati esistenti. Il fatto che,

nel caso del litorale veneziano, fossero in corso interventi di riqualificazione della fascia costiera e che altri fossero previsti a breve scadenza, indicava come necessità imprescindibile che il *database* potesse venir aggiornato con facilità e con altrettanta facilità fosse possibile aggiornare i valori di vulnerabilità e rischio solo per alcuni tratti, caratteristica che non sarebbe consentita dall'analisi multivariata.

Al fine di applicare la procedura scelta è necessario in primo luogo attribuire delle categorie di valori (GORNITZ *et al.*, 1994) o di importanza (BUSH *et al.*, 1999) nell'ambito di ogni variabile.

L'insieme numerico dei dati relativi alle variabili che concorrono alla vulnerabilità potenziale è stato perciò normalizzato in un intervallo compreso tra 0 e 4 attribuendo il valore massimo corrispondente alla condizione di vulnerabilità maggiore. Reciprocamente, all'insieme dei parametri utilizzati per la definizione delle difese, è stato assegnato il valore più elevato (4) alla condizione di efficienza massima contro le mareggiate. A ciascuna variabile è stato assegnato un coefficiente (k) a seconda del grado di importanza della variabile stessa all'interno del sistema.

Infine il rischio "R" è stato definito applicando la seguente relazione $R = Vr \times E$ dove "E", ossia il valore esposto, è stato quantificato attraverso la classificazione della tipologia d'uso dell'entroterra, che è stata indicizzata in quattro classi, a seconda dell'importanza dell'insediamento (centri urbani=4, nuclei di case=3, case sparse e aree agricole=2, aree naturali=0).

19.1.3. Variabili

Il criterio per definire sia le aree maggiormente vulnerabili all'ingressione marina sia quelle a maggior rischio per la popolazione e per le abitazioni è basato sulla valutazione oggettiva delle caratteristiche fondamentali dei diversi tratti di costa, rappresentate da un insieme di variabili riferite a cinque comparti distinti:

- 1) Condizioni meteomarine
- 2) Condizioni geologico-morfologiche e pressione d'uso delle spiagge
- 3) Tendenze evolutive delle spiagge
- 4) Tipologia delle strutture difensive lungo costa e nel retrospiaggia
- 5) Uso del suolo e tipologie insediative dell'entroterra.

L'insieme delle variabili che rientrano nei primi quattro comparti costituiscono la base per la zonazione del litorale, tradotta in termini di vulnerabilità. Il quinto comparto stabilisce invece il valore esposto.

19.1.3.1. Condizioni meteomarine

Il clima di moto ondoso dell'area in esame rappresenta la condizione di base per la valutazione del rischio da esondazione, poiché la mareggiata è l'evento naturale che costituisce la pericolosità, nell'accezione già definita in precedenza. Tuttavia i dati a oggi disponibili sono piuttosto frammentari o caratterizzati da statistiche limitate nel tempo. Limitandosi alle

statistiche finalizzate alla pericolosità, per la quantificazione degli eventi estremi, il *Magistrato alle Acque di Venezia - Consorzio Venezia Nuova* (CVN, 1985) riporta una stima aggiornata di probabilità di eventi di mareggiata computata sulla base dei dati registrati da tre differenti fonti (CNR, ENEL, KNMI). Da tale studio risulta che non è possibile estrapolare una statistica attendibile per tempi di ritorno ("Tr") superiori a 10 anni, in quanto le osservazioni continue si limitano a 7 anni con registrazione effettiva dei dati pari al 68% del tempo (dati ENEL periodo 1976-82). Il CVN (1985) riporta comunque una redistribuzione dell'altezza d'onda significativa al largo in condizioni estreme ($H_s > 2$ m) per tempi di ritorno superiori (50, 100 anni). Sia in condizioni di Bora che di Scirocco le massime altezze d'onda significative (H_s) con $Tr=10$ anni sono pari a poco meno di 5 m.

CAVALERI *et al.* (1996) giungono a conclusioni simili utilizzando i dati di moto ondoso registrati dopo il 1972 alla piattaforma oceanografica *Acqua Alta CNR*, nel Golfo di Venezia. Gli eventi di mareggiata considerati (con $H_s > 2$ m) sono complessivamente 90, di cui 72 di Bora e 18 di Scirocco. Per $Tr=10$ anni e probabilità pari al 90% i valori di H_s durante le mareggiate di Bora e Scirocco risultano di 4,9 m e 5,2 m circa, rispettivamente.

La pericolosità degli eventi estremi è associata al valore di H_s in prossimità della costa. Per tale ragione i valori fin qui riportati possono essere considerati solo come base per il calcolo della propagazione del moto ondoso sotto riva. E' noto infatti che le onde che si propagano verso i bassi fondali tendono a trasformarsi e a dissipare la propria energia, a causa della rifrazione, dello *shoaling* e dell'effetto d'attrito con il fondo. Una stima del decadimento dei valori estremi è fornita da CAVALERI *et al.* (1996): in condizioni di scirocco con H_s al largo di 5,0-6,5 m, la riduzione in altezza tende asintoticamente a 3,20-3,50 m approssimativamente in corrispondenza della testata della bocca del Lido di Venezia, a una profondità di 5 m circa.

L'aspetto interessante del fenomeno è che l'andamento delle isolinee di altezza d'onda, e quindi di energia associata, corrisponde alla configurazione batimetrica dei fondali dell'area dell'Alto Adriatico.

In mancanza di un corretto modello di calcolo che stabilisca l'esatta ripartizione dell'energia del moto ondoso sotto riva (CAVALERI *et al.*, 1996), è possibile in prima ipotesi considerarla equamente distribuita lungo il tratto costiero in esame (dal Piave al Tagliamento), che presenta una configurazione batimetrica piuttosto uniforme e grossomodo parallela alla linea di riva.

In sintesi, ai fini della pericolosità, può essere considerato come evento estremo una mareggiata con H_s max pari a 3,5 m in corrispondenza dell'isobata -5 m. A tale valore è opportuno sommare la variazione del livello marino (Δh) dovuta principalmente alla marea, che può raggiungere i 130 cm con $Tr = 10$ anni, come valore statistico combinato agli eventi di mareggiata (CVN, 2000).

Gli effetti di tale evento sul litorale saranno determinati dalla configurazione del profilo sommerso della spiaggia (tra -5 m e la linea di riva), che rientra nel comparto delle variabili indicate nel punto successivo.

19.1.3.2. Condizioni geologico-morfologiche

L'assetto morfologico del litorale è determinato da due variabili: pendenza dei fondali e ampiezza della spiaggia. Poiché i litorali del Veneto sono molto sfruttati turisticamente, un fattore destabilizzante dell'assetto naturale è dato dalla pressione d'uso, intesa come numero di presenze turistiche⁴, che implicano indirettamente strategie d'utilizzo del bene spiaggia non sempre finalizzate alla sua preservazione.

• Pendenza dei fondali

E' un parametro che esprime il potere dissipativo del tratto di spiaggia considerato nei confronti del moto ondoso. Un profilo meno ripido e caratterizzato dalla presenza di barre e truogoli è più efficiente nella dissipazione dell'energia. Per calcolare la pendenza esistono diversi metodi che si differenziano nella scelta dell'estremo verso mare del tratto di profilo sottomarino da considerare. Per CAROBENE & BRAMBATI (1975) la zona a barre e truogoli, identificata come la zona dinamica della spiaggia sottomarina, ha come limite inferiore il piede della barra più esterna. BRAMBATI & FINOCCHIARO (1988) evidenziano però alcune difficoltà nell'identificazione univoca di questo limite, soprattutto in mancanza di una forma ben distinta di barra esterna.

HALLERMEIER (1978, 1981) propone un metodo matematico per l'individuazione del limite del profilo attivo della spiaggia sottomarina (profondità di chiusura), che utilizza i parametri di altezza e periodo dell'onda incidente sul litorale considerato. Viste le difficoltà di cui sopra e dato che all'interno del presente studio il calcolo della pendenza è finalizzato a valutare l'interazione del fondale con il moto ondoso, si è ritenuto più corretto utilizzare quest'ultimo metodo. Esso permette una determinazione univoca di tale limite applicabile anche dove la barra non sia presente. Secondo HALLERMEIER la profondità di chiusura (d_1) è data da:

$$d_1 = 2,28 H_{s0,137} - 68,5 * (H_{s0,137}^2 / g T_s^2)$$

dove $H_{s0,137}$ è l'altezza dell'onda significativa sotto costa che ha una frequenza di 0,137% (12 ore) in un anno, T_s è il periodo associato all'onda e g l'accelerazione di gravità. Utilizzando per i litorali considerati valori di H_s e T_s grossomodo compresi entro il *range* 1,8-2,5 m e 5-6 s (CNR, 1976; TOFFOLO & TOMASINO, 1984; CVN, 1985) si ottengono valori di d_1 compresi tra 3,5 e 4,5 m. Considerando il margine d'errore nella determinazione dell'altezza dell'onda sotto costa e

⁴ Le presenze turistiche nel 2010 nei comuni balneari veneziani ammontano a 33,3 milioni, di cui 10,4 milioni a Bibione e Caorle, 11,7 milioni a Eraclea, Jesolo e Cavallino, 9,1 milioni a Venezia, 2,1 milioni a Chioggia (fonte: Regione Veneto).

confortati dalla corrispondenza tra il passaggio tessiturale tra sabbie e sabbie pelitiche (BRAMBATI *et al.*, 1988) e l'isobata -5 m, quest'ultima profondità è stata considerata la più opportuna (PILLON, 1999).

Il valore della pendenza è stato calcolato quindi come rapporto tra la profondità -5 m e la sua distanza dalla linea di riva, sia essa naturale o antropica.

- **Ampiezza della spiaggia emersa**

È un altro indicatore fondamentale della capacità del litorale di assorbire un evento di mareggiata. Questa risulterà maggiore nel caso in cui sia presente una fascia più o meno ampia di dune attive, per definizione direttamente coinvolte nel bilancio sedimentario della spiaggia. Pertanto l'ampiezza è stata considerata comprensiva dei corpi dunari, qualora presenti, considerando come limite verso terra l'inizio della fascia della vegetazione arborea o arbustiva, indicatrice del passaggio tra duna attiva e duna stabilizzata. Nei sistemi fortemente antropizzati il limite è stato invece posto in corrispondenza delle strutture presenti nel retrospiaggia, siano esse argini, opere di difesa o strade costiere.

- **Pressione d'uso**

I litorali in esame sono, per la quasi totalità, interessati da intenso sfruttamento turistico. La pressione d'uso può essere quindi intesa come numero di presenze turistiche, che reca in sé alcune importanti conseguenze in riferimento alle condizioni del litorale. Lo sfruttamento si esplica soprattutto attraverso cospicue e continue movimentazioni di sabbia sulle spiagge interessate, per consentire una completa fruizione turistica. Le spiagge ne risultano spesso spianate, con un profilo topografico anomalo, dal ridotto potere dissipativo. Il mancato sviluppo della vegetazione spontanea, inoltre, aumenta la vulnerabilità della spiaggia nei confronti dell'erosione eolica.

19.1.3.3. *Tendenza evolutiva delle spiagge*

È rappresentata dalla variazione della linea di riva e dei fondali, entro il limite dato dalla profondità di chiusura.



Fig.19.2 - Difese morbide: duna a sviluppo naturale sul litorale di Ca' Roman.

- **Evoluzione della linea di riva (tendenza recente)**

Le fluttuazioni della linea di riva, sia naturali che indotte dall'azione antropica, possono modificare fortemente nel tempo l'ampiezza della spiaggia emersa, sia in negativo, che in positivo. Tali fluttuazioni possono essere di tipo stagionale, comprese in un *range* relativamente basso, che non influenzano la stabilità della spiaggia, oppure a lungo termine, decennali, che provocano variazioni importanti nella superficie di spiaggia emersa disponibile.

- **Evoluzione della linea di riva (tendenza storica)**

L'analisi dell'evoluzione della linea di riva a scala storica, cioè riguardante un periodo di tempo di più di 50 anni, è complementare a quella della tendenza recente in quanto permette di discriminare tra situazioni contingenti e croniche. Variazioni a lungo termine, determinate da una situazione generale di aumento/diminuzione del livello medio mare, subsidenza, posizione rispetto alle fonti sedimentarie e al trasporto *longshore*, possono in alcuni casi venir invertite da situazioni ed eventi contingenti. Come esempio è possibile citare il litorale di Caorle Ponente, il cui *trend* storico negativo si è trasformato in *trend* recente positivo in seguito alla costruzione del molo guardiano di foce Livenza, che ha intercettato il trasporto *longshore*.

- **Trend evolutivo dei fondali**

Individuata la profondità di -5 m come limite della zona dinamica della spiaggia sottomarina, è stata considerata l'evoluzione dei fondali relativamente a questo intervallo spaziale. Questo valore ci dà un indice della stabilità nel tempo dell'efficienza dissipativa della spiaggia sottomarina. Un *trend* evolutivo fortemente negativo determina un aumento della pendenza nel tempo e quindi una diminuzione del potere dissipativo.

19.1.3.4. *Strutture difensive lungo costa e nell'entroterra*

Il litorale in esame presenta numerose tipologie di opere difensive, sia di tipo morbido che rigido. Tale classificazione è stata mantenuta, distinguendo, nel caso delle difese rigide, quelle poste a mare, quelle radenti (cioè aderenti alla linea di riva) e quelle nel retrospiaggia.

- **Difese morbide**

Il litorale veneziano è, per le sue caratteristiche naturali, estremamente favorevole allo sviluppo di dune costiere⁵. La loro presenza, in maniera continua lungo tutto il litorale, è testimoniata fino agli anni '50. Successivamente il boom edilizio, unitamente alla crisi erosiva diffusa, ha determinato lo smantellamento della maggior parte dei cordoni dunosi, sia quelli

⁵ Vedi anche il capitolo 7 "Geomorfologia" e la cartografia di Tav. 9.

immediatamente alle spalle della spiaggia emersa (avanduna), sia quelli dell'entroterra. Oggigiorno solo in alcuni casi sopravvivono ancora dune allo stato naturale, mentre nella maggior parte del litorale la duna non è più presente, sostituita dalle opere rigide di cui si parlerà nei punti successivi. In alcuni tratti rimangono i residui degli antichi cordoni dunosi, inglobati in un sistema spiaggia - retrospiaggia ormai completamente antropizzato. Allo scopo del presente studio sono state inserite in un'unica categoria, indicata con il termine "difese morbide", sia le dune naturali (Fig. 19.2), che quelle più o meno antropizzate, fino ai casi di falsa duna, cioè di argini, costituiti da rilevati in sabbia privi di alcun carattere di naturalità (Fig. 19.3).



Fig. 19.3 - Difese morbide: la "falsa duna" di Bibione, costruita a difesa della porzione urbanizzata del litorale.

La scelta di inserire casi così diversi in un'unica tipologia, è motivata dal fatto che, pur avendo essi un ruolo morfodinamico completamente diverso, assumono significati e funzioni simili per quel che riguarda il potere di difesa dalle mareggiate. Si tratta, in entrambi i casi, di difese senza strutture rigide, in cui l'unico consolidamento può essere costituito dalla presenza di una copertura vegetale. Il potere dissipativo dipende sostanzialmente da elevazione e forma. Per una corretta analisi e valutazione del grado di stabilità e dell'efficienza dissipativa dell'argine o della duna sono stati considerati i seguenti parametri fondamentali:

- *Altezza della difesa*: rappresentata dalla quota media dei punti più elevati del cordone difensivo.
- *Indice di ripidità*: espresso dal rapporto tra elevazione e ampiezza del lato a mare dell'apparato dunoso.
- *Copertura vegetale*: rappresentata dalla percentuale di copertura vegetale delle dune.
- *Indice di discontinuità*: rappresenta il rapporto tra l'ampiezza complessiva dei varchi e la lunghezza totale della difesa, varchi inclusi. I varchi, ovvero le interruzioni alla continuità della difesa, possono essere sia di tipo naturale ("blowout"), che indotti dall'uomo (prevalentemente varchi di accesso alla spiaggia).
- *Presenza di avandune incipienti*: fornisce un'indi-

cazione della naturalità del sito e delle sue buone condizioni generali; inoltre costituisce un'ulteriore, efficace fascia di difesa soprattutto per gli eventi non troppo intensi.

- *Presenza di staccionate frangivento*: costituisce soprattutto un ausilio nella difesa delle dune. Da un lato impedisce il calpestio, fonte di danneggiamento della copertura vegetale e quindi responsabile dell'innesco di processi erosivi; dall'altro limita l'erosione eolica favorendo, laddove possibile, l'accumulo di sabbia.

• Difese rigide

Come difese rigide sono state considerate tutte quelle difese artificiali in cemento armato o pietra, poste in opera per la salvaguardia dell'entroterra. Come già detto, le difese artificiali si suddividono generalmente in due grandi categorie: parallele e trasversali alla linea di riva.

Nella categoria delle difese trasversali si collocano tutte quelle strutture che si protendono dalla spiaggia verso mare, trasversalmente alla linea di riva: pennelli e moli foranei.

La loro funzione è principalmente quella di intercettare il carico solido trasportato dalle correnti lungoriva e offrono perciò una protezione molto limitata, se non nulla, dalle mareggiate.

Sono state quindi considerate solo le difese appartenenti alla categoria delle parallele, che è stata ulteriormente suddivisa in tre classi in base alla posizione delle opere rispetto alla linea di riva. Oltre a questo aspetto, la caratteristica fondamentale che definisce il grado di protezione assicurato dalla difesa è la sua quota massima sul livello del mare.

- *Difese a mare*: si tratta delle opere poste in mare, a una certa distanza dalla linea di riva, generalmente costruite in massi. Queste opere possono essere emerse, come le scogliere frangiflutti che si trovano in destra Tagliamento (Fig. 19.4), oppure sommerse, come le barre artificiali di fronte a Pellestrina. La loro funzione è in entrambi i casi di portare l'onda a



Fig. 19.4 - Difesa a mare emersa presso il faro di Punta Tagliamento sul litorale di Bibione.

frangenza prima che essa raggiunga la linea di riva, in modo da ridurre l'energia d'impatto delle onde sulla battigia o sulle strutture radenti. Per questa funzione risultano più efficienti le difese emergenti anche se di maggior impatto paesaggistico.

- *Difese radenti*: si tratta delle opere che sostituiscono la linea di riva, o che hanno un tratto di spiaggia prospiciente molto limitato (~10 m). Possono essere in cemento armato, come la gradonata di Valle Altanea, oppure in pietra, come i murazzi. I murazzi sono presenti generalmente laddove sia necessario preservare i centri abitati che siano direttamente esposti al moto ondoso, come il centro storico di Caorle e i lidi veneziani (Fig. 19.5), e sono perciò molto imponenti, di ampia sezione e altezza tale da non essere superati dalle onde più alte.



Fig. 19.5 - Difesa rigida radente: il murazzo del Lido di Venezia.

- *Difese del retrospiaggia*: in genere si tratta di muretti e passeggiate rilevate rispetto alla spiaggia che si trovano nell'entroterra sul limite tra spiaggia e centro urbano. Hanno la funzione primaria di impedire l'insabbiamento delle zone residenziali del retrospiaggia, ma si dimostrano valide anche come difesa dall'acqua alta, qualora la spiaggia venga completamente sommersa. In questa categoria ricadono ad esempio i muretti di Caorle Levante. Rientrano in questa tipologia di difesa anche i muri paraonde costruiti appositamente per proteggere dal moto ondoso e dall'acqua alta le zone del retrospiaggia. Ne troviamo un esempio lungo il litorale di Bibione, nel suo tratto orientale, o sui litorali del Cavallino e Jesolo (Fig. 19.6).

19.1.4. Banca dati

Per la compilazione e l'aggiornamento della banca dati e la successiva quantificazione delle variabili si è reso necessario eseguire sia ricognizioni in campo, sia una raccolta di dati pregressi. L'insieme delle informazioni è stata quindi codificata in una banca dati, riferita a tratti omogenei del litorale.

19.1.4.1. Ricognizioni e georeferenziazione

Tutti i litorali esaminati sono stati oggetto, nel corso



Fig. 19.6 - Difesa rigida del retrospiaggia sul litorale di Jesolo.

del 2005, di una campagna di osservazione diretta qualitativa, completata da riprese fotografiche, durante la quale sono state individuate le tipologie difensive, è stato rilevato lo stato dei litorali e sono stati raccolti i dati per l'aggiornamento della Carta Tecnica Regionale (CTRN) e degli ortofotopiani digitali georeferenziati, riferiti alla levata del 1998. In questo modo è stato possibile segnalare le urbanizzazioni e gli interventi costieri recenti e mappare con precisione i campi di dune eventualmente presenti.

Sulla base di questi dati sono stati individuati tratti omogenei di costa, ovvero i tratti che per tutta la loro lunghezza presentassero le stesse caratteristiche difensive, per un'estensione di almeno 50 m. Tali tratti (cfr. Tav. 16 allegata) sono stati indicizzati con una serie di due o tre lettere dell'alfabeto, dove la prima o le prime due indicano la denominazione del litorale cui appartengono e l'ultima indica la posizione dall'estremo meridionale (lettera A) a quello settentrionale all'interno di uno stesso litorale. Si sono quindi individuati i seguenti tratti: litorale di Isola Verde (da IVA a IVE), Sottomarina (da SA a SK), Pellestrina (da PA a PJ), Lido (da LA a LN), Cavallino (da CVA a CVU), Jesolo (da JA a JK), Eraclea (da EA a EH), Duna Verde (da DVA a DVD), Santa Margherita (da SMA a SMC), Caorle (da CA a CI), Valle Vecchia (da VA a VE), Bibione (da BA a BV).

19.1.4.2. Composizione della Banca Dati

Alle informazioni ricavate mediante rilevamento in campo, si affiancano quelle di bibliografia o di studi effettuati per conto di Enti Pubblici. La banca dati, secondo la suddivisione in comparti, viene descritta di seguito.

Condizioni geologico-morfologiche

Pendenza dei fondali

Per il calcolo della pendenza dei fondali sono stati utilizzati i dati provenienti dai rilievi eseguiti da TE.MA. per conto del *Magistrato alle Acque di Venezia - Con-*

sorzio Venezia Nuova nel 1997 per il Lido (CVN, 1997), nel 2002 per Eraclea, Duna Verde, Porto Santa Margherita, Caorle, Valle Vecchia e Bibione (CVN, 2004a), nel 2004 per Isola Verde, Sottomarina, Pellestrina, Cavallino e Jesolo (CVN, 2004 b).

La distanza tra la linea di riva e la quota di -5 m è stata misurata direttamente sulle sezioni disponibili in formato *Autocad*.

Trend evolutivo dei fondali

Il metodo più corretto per valutare l'evoluzione del profilo della spiaggia sottomarina consiste nella sovrapposizione delle due sezioni di confronto, previo controllo dell'aggancio a terra comune, e nel calcolo delle differenze di area. Dato che l'ubicazione dei profili non coincide necessariamente tra levate batimetriche eseguite da enti diversi in annate diverse, è stato necessario creare dei profili fittizi per operare il confronto. Per ottenere un risultato il più possibile realistico è stato preso in considerazione il rilievo più recente, ossia quello utilizzato per la pendenza dei fondali, poiché in genere più dettagliato, ovvero caratterizzato dalla più alta densità di sezioni rilevate. Sulla base di questi rilievi è stato costruito, per mezzo dell'estensione *3dAnalyst* del software *ESRI ArcGis 8*, un modello digitale dei fondali di ogni tratto di litorale. Per mezzo di un'estensione aggiuntiva, *Easy Profiler*, sono stati estratti i profili in corrispondenza di quelli della levata più vecchia. Tali profili sono stati poi riportati in *Autocad* in sovrapposizione di quelli della levata precedente, ed è stato effettuato il calcolo delle differenze, positive, negative e nette, delle superfici delle sezioni. I limiti su cui sono state tagliate le sezioni (linea di riva e -5 m) si riferiscono al profilo più recente. Il risultato è stato poi diviso per l'intervallo di anni che separa le due levate di confronto, ottenendo così il tasso in m³/m/anno. Successivamente, in base alla posizione dei profili rispetto ai tratti di litorale, si è proceduto all'assegnazione dei valori di tasso, operando una media laddove risultasse necessario. Per il litorale di Isola Verde è stato utilizzato il confronto diretto dei rilievi 1968-1980 e per i litorali di Pellestrina e Lido sono stati utilizzati i dati di CASTELLI *et al.* (1994) relativi al periodo 1968-1992.

Ampiezza della spiaggia emersa

L'ampiezza della spiaggia emersa è stata calcolata utilizzando la linea di riva ricavata dai rilievi effettuati da TE.MA per conto del *Magistrato alle Acque di Venezia - Consorzio Venezia Nuova* nel 2002 per Eraclea, Duna Verde, Porto Santa Margherita, Caorle, Valle Vecchia e Bibione (CVN, 2004 a), nel 2004 per Isola Verde, Sottomarina, Pellestrina, Cavallino e Jesolo (CVN, 2004 b), per il litorale del Lido sono state utilizzate le ortofoto del 1998.

Per ogni tratto è stata effettuata la media delle misurazioni effettuate lungo gli stessi transetti utilizzati per il computo dell'evoluzione della linea di riva.

Pressione d'uso

Per la quantificazione della pressione d'uso ci si è avvalsi dei dati ISTAT riportati nell'*Annuario Statistico della Provincia di Venezia Edizione 2000*. Secondo tale studio, il litorale della provincia di Venezia risulta suddiviso nei comprensori balneari di Chioggia (per i litorali di Sottomarina e Isola Verde), Lido, Cavallino, Jesolo, Eraclea, Caorle e Bibione. Pellestrina è l'unico tratto costiero privo di strutture turistico-ricettive.

Per ciascun comprensorio viene riportato il "numero di presenze" definito come "numero delle notti trascorse dai clienti nelle strutture ricettive alberghiere o extra-alberghiere". Il peso delle presenze turistiche deve essere considerato in base all'estensione del litorale; le presenze inoltre si distribuiscono in modo diverso sui diversi tratti di litorale e vanno quindi valutate caso per caso. La valutazione è stata fatta sulla base di un "indice di fruizione turistica" (i_t), che assegna un peso diverso (compreso tra 0 e 1), a diverse tipologie, secondo lo schema seguente:

- 0: litorali naturali e non, privi di interesse turistico o non balneabili;
- 0,05: litorali naturali di interesse turistico, adatti alla balneazione ma di difficile accesso, oasi naturali ad accesso limitato;
- 0,1: litorali naturali di interesse turistico e/o naturalistico, privi di infrastrutture turistiche ma interessati da una certa presenza data dalla relativa comodità di accesso;
- 0,6: litorali sfruttati dal punto di vista turistico (spiagge in concessione), forniti di infrastrutture turistiche e sui quali insiste un entroterra caratterizzato in prevalenza da campeggi e/o aree verdi attrezzate;
- 0,8: litorali sfruttati dal punto di vista turistico (spiagge in concessione), fornite di infrastrutture turistiche e sulle quali insiste un entroterra caratterizzato dalla presenza, in misura comparabile, di aree edificate (alberghi o residence) e di campeggi e/o aree verdi attrezzate;
- 1: litorali sfruttati dal punto di vista turistico (spiagge in concessione), fornite di infrastrutture turistiche, sulle quali insiste un entroterra caratterizzato dalla presenza preponderante di aree edificate (alberghi o residence).

Tendenza evolutiva delle spiagge

Evoluzione della linea di riva (tendenza recente)

L'evoluzione della linea di riva recente è stata ricavata dal confronto tra la CTRN della Regione Veneto (aggiornamenti del 1983 dal Tagliamento al promontorio di Caorle; 1987 da Caorle alla foce dell'Adige) e la posizione della linea di riva più recente disponibile dai già citati rilievi (CVN 2004 a, b).

Il confronto è stato effettuato con l'ausilio di un software dello USGS (*Servizio Geologico degli Stati Uniti*), denominato *DSAS, Digital Shoreline Analysis System* (sistema digitale di analisi della linea di riva), utilizzando transetti perpendicolari alla linea di riva equipaziati di 100 m.

Evoluzione della linea di riva (tendenza storica)

Per il trend di evoluzione sono stati utilizzati i dati riportati da ZUNICA (1971), relativi ai confronti tra il 1892 e il 1961-62 (fatti salvi alcuni casi in cui il periodo di confronto risulta limitato al 1951), basati sulla cartografia storica.

Tipologia delle strutture difensive lungo costa e nell'entroterra

Le difese morbide e rigide, radenti e del retrospiaggia, sono state caratterizzate in base alla loro elevazione rispetto al livello medio del mare, nota dalla documentazione consultata o misurata durante la campagna di rilevamento del 2000 (FONTOLAN *et al.* 2001). Nei casi in cui erano disponibili più misure, è stato assegnato un valore medio. Analogamente, l'indice di ripidità è stato ricavato sulla base delle misure effettuate. Gli altri indici di efficienza e stabilità delle dune (copertura vegetale, indice di discontinuità, presenza di avandune incipienti e di staccionate frangivento) sono stati desunti mediante osservazione diretta e controllo su ortofoto. In particolare, il grado di copertura vegetale è stato distinto in cinque categorie descrittive: totale, abbondante, discontinua, scarsa, nulla, che possono grossomodo essere assimilate ai cinque stadi evolutivi delle avandune indicati da HESP (1988). Analogamente l'indice di discontinuità è stato diviso in tre categorie: < 10%, tra 10% e 20%, > 20%; la presenza di avandune incipienti e staccionate è stata classificata in tre categorie: presenti, scarse, assenti. Per le difese a mare si è mantenuta la distinzione tra emergenti e sommerse.

Uso del suolo e tipologie insediative dell'entroterra

Per classificare la tipologia dell'entroterra sono state utilizzate classi simili a quelle riportate nel *Programma di Previsione e Prevenzione in materia di Protezione Civile della Provincia di Venezia* (1999) per la definizione del rischio idraulico. Essa prevede la suddivisione del territorio in quattro classi sulla base della densità abitativa; nel nostro caso le classi di densità abitativa sono state ridotte a tre, per la particolare tipologia offerta dalla zona prossima al litorale, contraddistinta in prevalenza da insediamenti a nastro. Le tre classi considerate sono, secondo la definizione riportata nell'*Annuario Statistico della Provincia di Venezia, Edizione 2000* (ISTAT, 2000):

- "Case sparse": le case disseminate nel territorio comunale a distanza tale tra loro da non poter costituire nemmeno un nucleo abitato.
- "Nuclei di case": la località abitata priva del luogo di raccolta che caratterizza il centro abitato, costituita da un gruppo di case contigue o vicine con almeno 5 famiglie e con interposte strade, sentieri, spiazzini, aie, piccoli orti, piccoli incolti e simili, purché l'intervallo tra casa e casa non superi una trentina di metri e sia in ogni modo inferiore a quello intercorrente tra il nucleo stesso e la più vicina delle case manifestamente sparse.

- "Centro abitato": aggregato di case contigue o vicine con interposte strade, piazze e simili, o comunque brevi soluzioni di contiguità, caratterizzato dall'esistenza di servizi o esercizi pubblici costituenti la condizione di una forma autonoma di vita sociale. Secondo quanto indicato nel *Programma di Previsione e Prevenzione in materia di Protezione Civile della Provincia di Venezia* (1999), le aree agricole sono state assimilate, ai fini del rischio, alla tipologia "Case sparse". E' stata utilizzata una quarta tipologia di uso del suolo ("Area naturale") per i pochi casi di entroterra privi di abitazioni e con presenza di aree naturali. Infine è stato considerato un valore aggiunto, nei casi in cui l'entroterra risulti compreso nella perimetrazione di un'area SIC ("Sito d'Importanza Comunitaria"), definita sulla base della Direttiva "Uccelli" 79/409/CEE e della direttiva "Habitat" 92/43/CEE. Attualmente i SIC compresi in provincia di Venezia sono i seguenti (Tab. 19.1):

Codice Natura 2000	Denominazione del SIC
IT3250003	PENISOLA DEL CAVALLINO: BIOTOPOLI LITORANEI
IT3250013	LAGUNA DEL MORT E PINETE DI ERACLEA
IT3250023	LIDI DI VENEZIA: BIOTOPOLI LITORANEI
IT3250033	LAGUNA DI CAORLE - FOCE TAGLIAMENTO
IT3250034	DUNE RESIDUE DEL BACUCCO

Tab. 19.1 - SIC compresi in provincia di Venezia (Fonte: www.regione.veneto.it).

19.1.5. Metodologia di calcolo

19.1.5.1. Normalizzazione delle variabili e calcolo degli indici di vulnerabilità e rischio

Come già esposto, per la quantificazione del rischio si è deciso di operare attraverso la definizione preliminare dell'indice di vulnerabilità, che rappresenta una misura della capacità del sistema spiaggia di contrastare l'erosione marina. Tale capacità è valutabile attraverso l'insieme delle condizioni del litorale, rappresentate dai valori delle variabili indicate in precedenza.

In questo caso le variabili utilizzate per la regressione multipla sono solamente 6:

- 1) "Pendenza fondali" "PF", 2) "Trend evolutivo fondali" "TEF", 3) "Ampiezza spiaggia emersa" "ASP", 4) "Evoluzione recente della linea di riva" "ERR", 5) "Evoluzione storica della linea di riva" "ESR", 6) "Pressione d'uso" "PU".

I dati relativi a ogni variabile per ciascun tratto costiero sono stati normalizzati all'interno di un intervallo compreso tra 0 e 4, dove 4 corrisponde alle condizioni di massima vulnerabilità (cfr. Tab. 19.2). E' stata ap-

portata questa significativa modifica rispetto alla versione precedente del calcolo (FONTOLAN *et al.*, 2001), per evitare le discrepanze date dalla discretizzazione dei dati in quattro classi, che vincolava molto il risultato agli intervalli di attribuzione delle classi.

Variabile	0	4
Pendenza fondali	0,0065	0,015
Ampiezza spiaggia	140 m	0 m
Evoluzione dei fondali	30 mc/m/anno	-30 mc/m/anno
Evoluzione storica linea di riva	5 m/anno	-5 m/anno
Evoluzione recente linea di riva	5 m/anno	-5 m/anno
Pressione d'uso spiaggia	0 presenze/m	400 presenze/m

Tab. 19.2 - Intervalli di normalizzazione delle variabili.

Per la normalizzazione sono state utilizzate delle funzioni lineari, con l'eccezione della variabile "PF", dove è stata utilizzata una funzione logaritmica, che meglio si adatta alla normalizzazione di una variabile derivata da un rapporto.

A ciascuna delle variabili è stato quindi attribuito un peso sulla base della rilevanza ai fini della mitigazione del rischio. In questo modo solo le variabili "PF" e "ASP" assumono valore massimo (pari a 1) poiché rappresentano le condizioni di dissipazione dell'energia del moto ondoso, prima a mare e poi sul tratto immediatamente subaereo. Le variabili "TEF" e "ERR" costituiscono un insieme che definisce l'attuale tendenza evolutiva; poiché la loro importanza può essere considerata paritetica, si è deciso di attribuire loro un peso uguale (0,5) con somma 1, evitando in tal modo una ridondanza che potesse inficiare il valore delle due precedenti variabili. Sia "ESR" che "PU" rappresentano due indicatori di potenziale destabilizzazione del litorale, che tuttavia hanno un basso peso nel computo dell'indice di vulnerabilità. Nel primo caso si è deciso di assegnare un peso pari a 0,1, in quanto l'evoluzione della linea di riva è già ben rappresentata dal *trend* recente; nel secondo caso è stato attribuito un peso di 0,2, che corrisponde a una stima del 20% di abbattimento della valenza della spiaggia emersa. L'algoritmo per il calcolo di "Vp" risulta dunque:

$$V_p = PF + SE + 0,5 TEF + 0,5 ERR + 0,1 ESR + 0,2 PU$$

La vulnerabilità potenziale può variare da un minimo e massimo teorici di 0 e 13,2.

La "vulnerabilità reale V_r " che rappresenta la vulnerabilità del litorale, mitigata dalle difese naturali e artificiali, è stata ricavata secondo la procedura descritta in seguito.

Idealmente ciascun tipo di difesa può efficacemente assolvere al suo compito, qualora le condizioni e la

struttura stessa della difesa siano ottimali, come nel caso di un muraio alto e ben consolidato o di una duna molto elevata, ben strutturata e priva di discontinuità. Tuttavia le difese costiere non sempre presentano queste caratteristiche, perdendo quindi efficacia o richiedendo interventi supplementari di rinforzo. In pratica, assumendo cautelativamente che nessuna delle tipologie difensive possa assolvere indefinitamente al proprio compito, può essere stabilita una sorta di graduatoria che identifica come difese più efficaci - sia strutturalmente che temporalmente - quelle rigide.

Per ogni tipo di difesa è stato quindi attribuito un coefficiente di efficacia "C" così ripartito:

- Difese morbide: $C_d = 0,6$
- Difese a mare: $C_m = 0,5$
- Difese radenti e del retrospiaggia $C_e C_r = 0,8$

Tali coefficienti indicano che le difese rigide (cemento e massi) poste in aderenza o nel retrospiaggia sono in grado di abbattere la vulnerabilità potenziale fino all'80%. Un analogo comportamento si verifica per le altre categorie di difese, nella misura del 50% per quelle a mare (computato stimando cautelativamente un pari abbattimento dell'energia dell'onda) e del 60% per quelle morbide, in virtù della loro maggior fragilità rispetto a quelle rigide. La variabile considerata fondamentale per valutare l'efficacia delle difese è la quota (d). La normalizzazione nell'intervallo 0-4 dei dati relativi alle quote delle difese è stata effettuata utilizzando un valore soglia massimo (quota di sicurezza) di 4 m per le difese rigide radenti e di 3,2 m per quelle del retrospiaggia, giudicate più efficienti a parità di quota, rispetto alle prime. Le difese del retrospiaggia, infatti, vengono più difficilmente investite dall'azione diretta del moto ondoso dissipato in prevalenza dalla spiaggia antistante e devono soprattutto fronteggiare l'aumento di livello del mare spesso concomitante all'evento di mareggiata.

Un discorso a parte è stato fatto per le difese morbide, in quanto la loro efficienza e stabilità non è determinata solamente dal valore di altezza assoluta (in questo caso discretizzata per classi), ma anche da un insieme di 5 variabili (ripidità, copertura vegetale, discontinuità ecc.). L'effetto combinato di queste 5 variabili deve tradursi in un indice di efficienza e stabilità ("IES") che varia da 0 a 1:

$$IES = \frac{\sum V_i}{20}$$

dove V_i indica l'insieme delle cinque variabili descrittive delle difese morbide, la cui importanza è considerata uguale. Il denominatore 20 è dato dalla somma dei massimi valori attribuiti alle variabili e serve per normalizzare l'indice nell'intervallo 0-1.

L'efficacia di ogni difesa "D_i" è rappresentata da:

$$D_i = d * \frac{13,2}{4}$$

dove d rappresenta la quota della difesa normalizzata tra 0 e 4 col metodo sopra esposto e il rapporto 13,2/4 rappresenta il coefficiente di normalizzazione dei valori delle difese nell'intervallo della vulnerabilità potenziale.

La vulnerabilità reale può quindi essere così definita:

$$V_r = V_p - (D_d * IES * C_d + D_m * C_m + D_r * C_r + D_e * C_e)$$

dove D_d, D_m, D_r e D_e rappresentano i nuovi valori di efficacia ("D_i") rispettivamente per le difese morbide, le difese rigide a mare, quelle radenti e quelle del retrospiaggia.

Definita la vulnerabilità reale, è semplice calcolare il valore del *rischio*, che tiene in considerazione la valenza della fascia retrostante alle spiagge, definita dalle classi di uso del suolo e delle tipologie insediative dell'entroterra. I massimi valori sono attribuiti quindi ai centri urbani (4) e i minimi alle aree naturali (0), sottintendendo il rischio associato primariamente alle vite umane e subordinatamente al valore economico delle abitazioni e dell'attività produttiva.

Il rischio si ottiene pertanto dal prodotto tra la vulnerabilità reale e la valenza dell'entroterra ("E"):

$$R = V_r * E$$

La valenza di alcune aree naturali costiere (aree SIC) è stata riconosciuta come valore aggiunto e quindi valutata a parte in termini di rischio ("R2") nel seguente modo:

$$R2 = V_r * (E+1)$$

In Fig. 19.7 sono riassunte schematicamente le variabili utilizzate e il peso assegnato loro per il calcolo di "Vulnerabilità" e "Rischio".

19.2. RISULTATI

19.2.1. Quantificazione della vulnerabilità

Attraverso l'applicazione del metodo già utilizzato nel 2001 e grazie all'aggiornamento effettuato per gran parte dei dati, si è giunti alla quantificazione della vulnerabilità reale e del rischio relativi ai litorali della provincia di Venezia.

Dalla distribuzione dei valori ottenuti della "V_r" e in base alle caratteristiche dei tratti sono state ricavate le seguenti categorie:

V _r	Categoria di Vulnerabilità Reale	% (km)
≤ 3,3	Bassa	78,2
3,3 < R ≤ 6,6	Moderata	17,73
6,6 < R ≤ 9,9	Elevata	3,57
R > 9,9	Molto elevata	0,52

Per ciascuna categoria vengono di seguito descritte le tipologie di litorale riscontrate.

19.2.1.1. Vulnerabilità reale bassa

Il 78% dei litorali indagati, per un totale di circa 69 km, ricade entro il campo di vulnerabilità reale bassa.

In questa categoria sono compresi tratti di litorale caratterizzati storicamente da importanti *trend* erosivi, che hanno determinato la totale scomparsa della spiaggia emersa e l'approfondimento dei fondali. A queste situazioni si è fatto fronte con la costruzione di imponenti opere di difesa in epoca storica, come i murazzi che fronteggiano il centro storico di Caorle, quelli del Lido e di Pellestrina (Fig. 19.8 B, C): tratti CD, LH, LI, e PB, PC, PD, PE, PF, PG, PH, PI, PJ) o dopo la mareggiata del 1966, con le difese radenti di Eraclea (tratti EB, EC, EH), di Duna Verde (tratti DVA, DVC, DVD) e di Jesolo (tratto JG). I *trend* erosivi attualmente non si manifestano attraverso un arretramento della linea di riva, che è stata del tutto artificializzata. In tempi recenti la realizzazione di difese rigide nel retrospiaggia è stata invece effettuata solamente in due casi (tratti JF, IVB), per contrastare situazioni critiche in atto da tempo. Le quote elevate di queste opere consentono di compensare le cattive condizioni morfologiche del litorale, che presenta V_p elevata (sempre > 7,24), determinata da spiaggia assente o poco ampia, pendenze dei fondali molto o mediamente elevate e da una generale tendenza erosiva. In alcuni casi, come lungo il litorale di Pellestrina, si è inoltre intervenuti mediante rifluimento per la creazione di una nuova spiaggia. Altri tratti, con condizioni morfologiche nettamente negative, presentano ancora sistemi di dune sufficienti a garantire la protezione dell'entroterra, soprattutto in virtù di quote elevate (tratto BV, dove è inoltre presente un sistema difensivo di barriere distaccate e una coronella in massi a difesa del faro; tratto DVB, con palancola cementizia verso mare).

Tratti di litorale con condizioni morfologiche ed evolutive meno negative (3,3 < V_p < 6,8) presentano spesso dune o lembi residuali di dune più o meno antropizzate oppure argini in sabbia, le cui caratteristiche di quota ed efficienza consentono di mitigare una vulnerabilità potenziale comunque significativa. Presentano queste caratteristiche numerosi tratti del litorale di Bibione (BB, BC, BE, BL - cfr. Figg. 19.8E, BM, BN) e alcuni a Sottomarina (tratti SA, SB, SC), Lido (tratti LB, LC, LD), Valle Altanea (tratto SMC) e Caorle (tratto CA). Talora le condizioni negative della spiaggia sono state mitigate mediante ripascimenti (ad es. lungo il Cavallino), che hanno portato all'ampliamento dell'arenile e ridotto sensibilmente le possibilità di esondazione marina. In numerosi casi i litorali presentano sistemi difensivi nel retrospiaggia che, anche se non molto elevati, permettono di compensare efficacemente la vulnerabilità potenziale (come ad esempio nei tratti SF, SG, LF, LJ, CVH, CVF, CVJ, CVK, CVL, CVN, CVO, CVS, CVU, JF, JG, CB, CE).

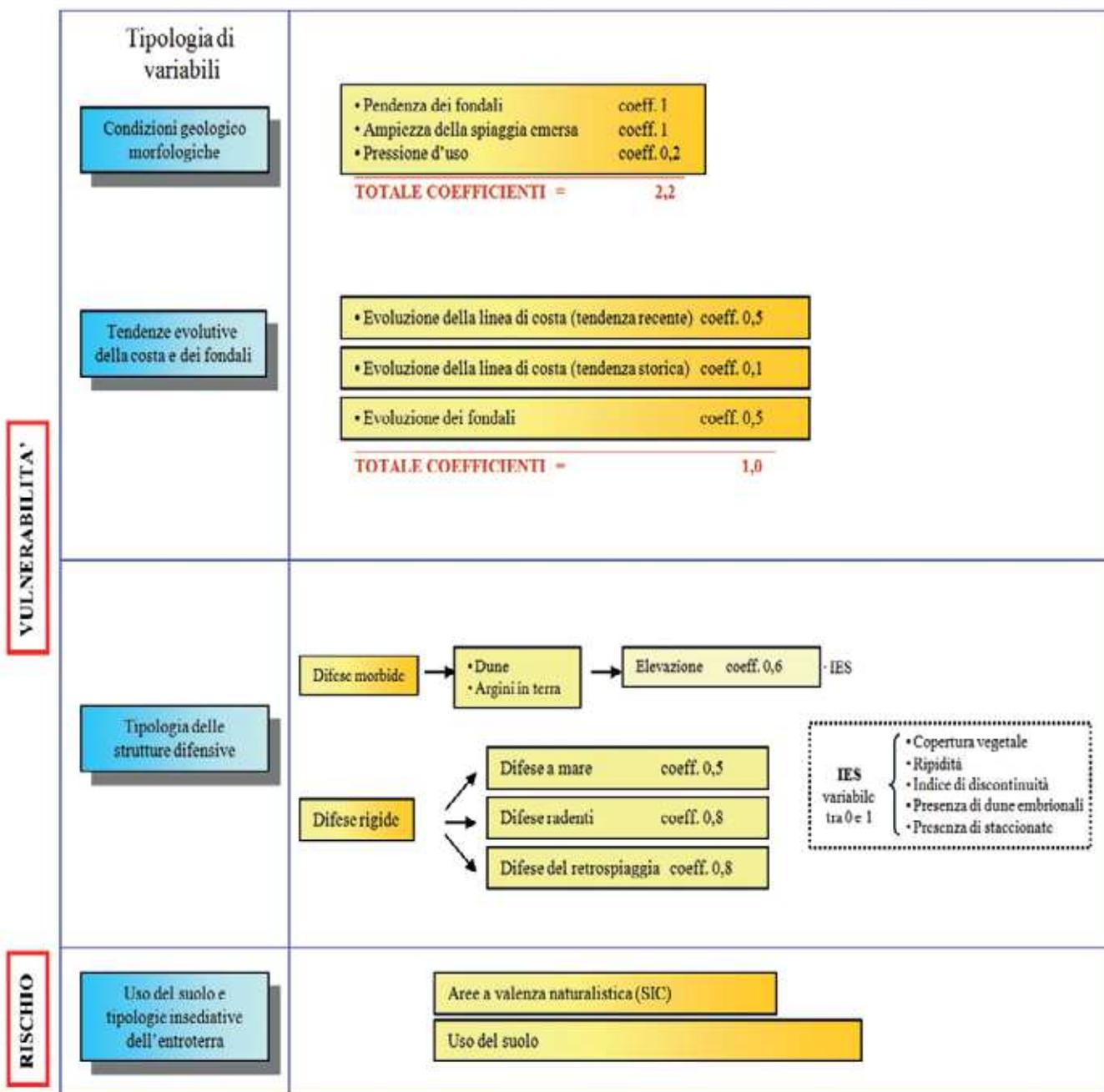


Fig. 19.7 - Schema sinottico delle variabili utilizzate per il calcolo di vulnerabilità e rischio.

Ricadono infine in questa categoria di Vr tratti di litorale con Vp molto bassa ($Vp < 3,3$) e che hanno quindi condizioni morfologiche estremamente dissipative e trend evolutivi positivi. Si tratta in generale di sistemi accrezionari posti, ad esempio:

- a) sopra- e sottoflutto ai moli foranei lagunari, come il settore settentrionale di Sottomarina (tratti da SH a SK), il litorale di Ca' Roman (tratto PA, Fig. 19.8A) e degli Alberoni (tratto LA), la porzione settentrionale di Lido (tratti da LK ad LN);
- b) in corrispondenza di aree di accrescimento di frecce litorali limitrofe a bocche tidali in rapida evoluzione, come a Porto Baseleghe (tratto BA);
- c) in aree particolarmente protette, con tipica configurazione a baia, come nel caso di Caorle Levante (tratti da CF a CI, fig. 19.8D).

In alcuni di questi tratti le condizioni estremamente positive di Vp consentono di avere una bassa Vr anche in assenza di opere di difesa, siano esse dune o manufatti (tratti LL, SH, SI, SJ, SK); si tratta di spiagge estremamente ampie, dove l'assenza di dune, dovuta all'azione antropica di spianamento, risulta compensata dalle caratteristiche morfodinamiche estremamente positive.

19.2.1.2. Vulnerabilità reale moderata

Risultano compresi in questo intervallo circa 16 km di litorale (pari al 18% circa). Questi casi sono accomunati da condizioni morfologiche ed evolutive che, nel complesso, portano a valori mediamente elevati (anche se non critici) di vulnerabilità potenziale ($3,6 < Vp < 8,63$) solo marginalmente mitigati, qualora presenti, dalle difese.



Fig. 19.8 - Esempi di tratti di litorale a bassa "Vr": A: Foto dall'elicottero dell'isola di Ca' Roman (foto Emiliano Ramieri), B: il murazzo a difesa dell'isola di Pellestrina, C: il murazzo a difesa del centro storico di Caorle, D: la spiaggia di Levante di Caorle, E: tratto del litorale di Bibione con dune parzialmente antropizzate.



Fig. 19.9 - Tratto del litorale di Jesolo dove è stato effettuato un intervento di ricostruzione delle dune.

Nella maggior parte dei casi, questa categoria è rappresentata da un sistema spiaggia-difesa morbida (tratti IVA, IVC, IVD, SD, JB, LG, CVE e da BF a BK), che può potenzialmente garantire un'efficace azione dissipativa del moto ondoso, anche se episodi frequenti e particolarmente intensi di mareggiata possono renderli vulnerabili. Inoltre, lungo questi tratti, è spesso riscontrabile una cattiva o mancata gestione delle dune e degli argini, con degrado, eccessiva antropizzazione e mancanza di adeguate protezioni, che abbattano l'efficacia delle difese e non garantiscono quindi la sicurezza a lungo termine di questi settori costieri.

In questa casistica ricadono, inoltre, anche alcuni contesti erosivi, con valori medio alti di V_p , lungo i quali sono presenti argini (BR) o dune costiere naturali (tratti EA, VB e VC) o ricostruite di recente (JK, Fig. 19.9); per tali tratti va sottolineata la condizione di equilibrio precario, che potrebbe portare a una sensibile riduzione futura dell'ampiezza dell'arenile, con contestuale incremento della vulnerabilità.

Nella categoria di V_r moderata ricadono, infine, alcuni tratti con valori moderati di V_p , associati a un contesto evolutivo stabile e a condizioni dissipative in parte garantite da spiagge sufficientemente ampie o da pendenze dei fondali medio-basse. In questi casi è la mancanza di un sistema integrato spiaggia-duna (o argine) a incrementare la vulnerabilità, come riscontrato localmente a Sottomarina (SE), Jesolo (JD), Cavallino (CVI) e Bibione (BD); oppure tale mancanza non è sopperita dalle misure difensive attuate, che risultano inefficienti come lungo i tratti ED, EF e BF.

19.2.1.3. Vulnerabilità reale elevata

Ricadono in questa classe circa 3 km di litorale (pari al 4% circa). Sono tratti costieri privi o quasi di opere di difesa naturali o antropiche, in contesti da moderatamente a fortemente erosivi, con ridotta capacità dissipativa della spiaggia e dei fondali.

In due casi le condizioni estremamente dinamiche, legate alla vicinanza di bocche o foci fluviali (VE, BS),

determinano *trend* fortemente erosivi con superfici di spiaggia ridotte, ma spiaggia sottomarina non eccessivamente acclive. Gli altri casi coincidono con le porzioni prive di difese lungo il litorale di Jesolo (JE, JH, JJ) dove la spiaggia, di recente rifluta e ampliata, compensa solo parzialmente un contesto storico fortemente erosivo, con pendenze dei fondali in genere significativamente elevate.

19.2.1.4. Vulnerabilità reale molto elevata

Un valore molto elevato di V_r si riscontra in un unico tratto costiero del litorale di Bibione (BU) caratterizzato da un elevato *trend* erosivo, con capacità dissipative ormai ridotte e privo di difese.

19.2.2 Quantificazione del rischio

La tipologia di utilizzo dell'entroterra determina l'attribuzione di un valore più o meno elevato di rischio alle situazioni appena descritte. Analogamente a quanto effettuato per la vulnerabilità, sono state quindi individuate le quattro categorie di rischio sotto riportate.

R	Categoria di Rischio	% (km)
$\leq 13,2$	Trascurabile	86%
$13,2 < R \leq 26,4$	Moderato	12,3%
$26,4 < R \leq 39,6$	Medio	1,7%
$> 39,6$	Elevato	0%

E' stata esclusa a priori la creazione di una categoria di rischio "molto elevato", in quanto, secondo quanto riportato nel D.P.C.M. 29.09.98, essa prevede la significativa possibilità di perdita di vite umane, caso da escludere nel contesto del rischio da mareggiata per i litorali veneti, fatti salvo casi legati ad accidentalità. Per ciascuna categoria di Rischio vengono di seguito descritte le tipologie dei litorali.

19.2.2.1. Rischio trascurabile

La grande maggioranza dei tratti costieri, che rappresentano in termini di estensione l'86% delle coste della provincia di Venezia (pari a circa 76 km), risulta a rischio trascurabile in base ai dati disponibili e alla metodologia di calcolo applicata nel presente lavoro. Ciò grazie alla bassa vulnerabilità reale (V_r sempre inferiore a 3,3) da cui sono caratterizzati.

In molti casi la situazione di sicurezza è diretta conseguenza di condizioni morfodinamiche buone ($V_p < 3,3$); queste ultime però possono essere soggette a cambiamenti significativi a scala temporale medio-lunga, in virtù di modificazioni esterne al sistema spiaggia (decremento degli apporti solidi fluviali, subsidenza ecc.). Tali cambiamenti possono avere conseguenze importanti soprattutto laddove siano presenti aree urbanizzate nell'immediato retrospiaggia. In tali condizioni il sistema non ha gradi di libertà e non può quindi evolversi, in risposta ai cambiamenti, nella direzione di un nuovo equilibrio, come avverrebbe

be in condizioni naturali. Lo stato dei litorali va quindi attentamente monitorato nel tempo, in modo da fornire risposte gestionali adeguate, prima dell'instaurarsi di condizioni critiche.

Nei casi appartenenti a questa classe, in cui le condizioni morfodinamiche sono invece fortemente negative, la sicurezza è garantita da difese particolarmente imponenti ed efficaci. In questo modo anche aree fortemente antropizzate, con centri abitati e zone turistico residenziali nell'immediato retrospiaggia, risultano garantite nella protezione dalle mareggiate. E' chiaro che, essendo la sicurezza di queste aree totalmente affidata alle opere, queste andranno correttamente monitorate e devono essere garantiti la manutenzione e il controllo, anche in riferimento alle quote (soprattutto in aree soggette a subsidenza).

19.2.2.2. *Rischio moderato*

Una modesta ma significativa percentuale (circa il 13%, corrispondente a circa 11 km di litorale) della costa della provincia di Venezia risulta caratterizzata da rischio moderato. Si tratta di litorali la cui Vr risulta compresa tra 3,3 e 6,6, per i quali la fascia costiera non è quindi completamente in grado di dissipare e contenere gli eventi da mareggiata e la presenza di opere di difesa non è sufficiente a compensare questa mancanza.

Ciò significa che non si esclude la probabilità che accadimenti calamitosi abbiano conseguenze sull'entroterra, sebbene i conseguenti danni sociali ed economici possano essere assunti come di tipo marginale.

Di questi litorali circa 6,5 km sono caratterizzati da una fascia dell'entroterra fortemente urbanizzata (categoria "centro abitato"); è evidente come l'urbanizzazione della fascia costiera, avvenuta senza alcun criterio di pianificazione razionale, rappresenti una delle problematiche maggiori lungo questi litorali, di cui soltanto circa 1600 m ricadono nella tipologia aree agricole / case sparse.

In tutto 6 km si presentano completamente privi di difese sia naturali che antropiche, rendendo evidente come non sempre all'urbanizzazione del territorio sia conseguita una gestione della fascia costiera; anzi, la mancanza di difese è per la maggior parte imputabile proprio all'antropizzazione che ha determinato su gran parte dei litorali la distruzione delle dune costiere.

19.2.2.3. *Rischio medio*

I tratti costieri che possono essere considerati a rischio medio sono soltanto due, situati lungo il litorale di Jesolo (JE) e di Bibione (BS) e si estendono per un totale di 1,5 km, pari soltanto a 1,7% circa del litorale indagato.

Si tratta di settori fortemente urbanizzati, soggetti a regimi erosivi e privi di opere di difesa. Per questi litorali è ipotizzabile che eventi significativi di mareggiata arrechino danni minori e allagamenti agli edifici e alle infrastrutture turistiche, con conseguenze negative per le attività socioeconomiche.

19.2.3. **Valenze ambientali**

Poiché il D.P.C.M. 29.09.98 prevede espressamente di considerare nella valutazione del rischio i danni al patrimonio ambientale, un'ulteriore quantificazione è stata effettuata considerando nella categorizzazione dell'uso del suolo la presenza di aree SIC, come dettagliato nel paragrafo 19.1.4.2. I risultati mostrano come i tratti interessati siano numerosi, pari a circa 37 km.

In alcuni casi il rischio risulta, come logico aspettarsi, significativamente più elevato in seguito al nuovo calcolo; da ciò sono esclusi i siti che presentavano Vr fortemente negativa e che quindi mantengono valori negativi nonostante il valore aggiunto delle aree SIC. In questa tipologia di tratti costieri gli interventi gestionali vanno programmati con particolare cura, a prescindere dal vincolo legislativo che prevede per essi la necessità di effettuare una valutazione d'incidenza. Nella grande maggioranza dei casi l'area SIC non interessa solo l'entroterra (come nel caso dei tratti LL e PJ), ma comprende la spiaggia o l'insieme spiaggia-duna quando quest'ultima è presente. Proprio in questi contesti l'obiettivo primario non è dato dalla protezione o conservazione dell'entroterra, bensì della spiaggia stessa. Il ricorso alle difese rigide deve quindi essere evitato o valutato con estrema attenzione; di converso dovranno essere studiate attentamente soluzioni di tipo morbido (rifluimenti) o interventi di ingegneria naturalistica (piantumazioni, staccionate frangivento ecc.) con estremo rigore metodologico. E' necessario infatti rispettare la naturale dinamicità degli ambienti costieri ed evitare l'introduzione di specie vegetali alloctone o non corrispondenti al preciso contesto morfo-ecologico.

19.2.4. **Considerazioni conclusive**

L'importanza di una classificazione in termini di vulnerabilità e rischio è quella di costituire anche un ordine di priorità di intervento. Le zone caratterizzate dai valori di rischio più elevati saranno ovviamente da considerare prioritarie in una strategia di intervento, rispetto a quelle caratterizzate da rischio minore. All'interno del primo gruppo si identificano, in base alla vulnerabilità più o meno elevata, i tratti di litorale che necessitano interventi urgenti. Si è ritenuto opportuno, in sede conclusiva, segnalare i casi di rischio e le differenti cause che li determinano, fornendo inoltre alcune indicazioni sulle strategie di mitigazione più opportune.

19.2.4.1. *Isola Verde e Sottomarina*

Lungo il litorale tra il porto di Chioggia e la foce dell'Adige la zona maggiormente critica risulta quella di Isola Verde, la più meridionale. L'elevato dinamismo di questo litorale, compreso tra le foci fluviali di Brenta e Adige, rende difficili gli interventi di sistemazione. Il settore centro-meridionale, in particolar modo, era stato giudicato a rischio nella precedente valutazione del rischio da mareggiata (FONTOLAN *et*

al., 2001) avendo sofferto di fenomeni erosivi intensi, con forte riduzione della superficie di spiaggia e distruzione delle dune per un tratto di 750 m. Proprio questo tratto è stato interessato da un intervento del *Magistrato alle Acque di Venezia - Consorzio Venezia Nuova* iniziato nel corso del 1998 e concluso nel 2002. Le opere hanno portato alla messa in sicurezza di una parte di circa 600 m (tratto IVB) attraverso il rifluimento della spiaggia, la costruzione di un argine cementizio e la formazione di una nuova duna mediante l'utilizzo di staccionate frangivento (Fig. 19.10). L'intervento è stato invece solo parziale per il tratto immediatamente a nord (IVC), dove non è stata realizzata la struttura in cemento e per il quale permane (per un'estensione di circa 139 m) una situazione di moderata vulnerabilità reale. Ne consegue un rischio moderato, vista la presenza nell'entroterra di un'area turistica urbanizzata ("nuclei di case").

L'elevato dinamismo di questo paraggio obbliga a una certa cautela sull'effettiva riuscita nel tempo dell'operazione. Le incognite sono molteplici, in quanto anche la realizzazione della palancola a pelo d'acqua, che allunga il molo guardiano nord dell'Adige di 540 m, avrà un'influenza significativa sulla circolazione sottocostiera e su quella fluviale, sottraendo inevitabilmente il carico solido al fondo che alimentava il tratto in questione. Questa incertezza è messa in evidenza dal fatto che, nonostante il rifluimento, il *trend* erosivo di questa parte di litorale resta confermato dal confronto tra la CTR 1987 e i rilievi del 2004 (CVN, 2004a; 2004b; 2004c), che indicano un tasso medio annuo di evoluzione della linea di riva per il tratto centro-meridionale (tratti IVA, IVB, IVC), che va da -0,36 m a -2 m.

E' auspicabile che per le dune ricostruite, ma il discorso vale anche per le altre dune della zona, venga attuata una efficace politica gestionale, che favorisca l'attecchimento di vegetazione autoctona sulle dune di neoformazione e conservi adeguatamente i cordoni ancora presenti. Va rispettata la zonazione naturale



Fig. 19.10 - Tratto del litorale di Isola Verde protetto da una difesa rigida parzialmente interrata, alle spalle è visibile un discutibile intervento di stabilizzazione della duna con piantumazioni e reti frangivento.



Fig. 19.11 - Un tratto del litorale di Sottomarina privo di difese (tratto SE).

della vegetazione, evitando l'inserimento di specie alloctone o non proprie del contesto ecologico e morfologico ed è consigliabile l'uso di materiali biodegradabili per le protezioni frangivento.

Per quanto riguarda il litorale di Sottomarina la situazione generale è buona, poiché l'arenile, soprattutto nel settore centro-settentrionale, è molto ampio e in progredizione. In alcuni punti la spiaggia emersa è ampia anche 300 m. Tuttavia un tratto, che si estende per circa 300 m (SE), presenta rischio moderato (Fig. 19.11).

Sebbene caratterizzata da una spiaggia molto ampia (206 m), quest'area manca di difese dalle acque alte. Conseguentemente, poiché l'entroterra risulta intensamente urbanizzato, il valore del rischio è più elevato rispetto agli altri tratti dello stesso litorale. Data la notevole estensione di arenile a disposizione sarebbe certamente di facile sistemazione un muretto di protezione dalle acque alte, tra l'altro già realizzato per il settore più settentrionale (SG).

Potrebbe anche essere facilmente programmata una ricostruzione di dune, che risulterebbe qui particolarmente favorita dall'orientazione del litorale, che viene investito quasi ortogonalmente dai venti di bora, principali responsabili della costruzione di dune in nord Adriatico.

Tutto il settore meridionale è difeso da cordoni dunosi. Tuttavia le dune si trovano spesso in condizioni critiche, con il fianco a mare molto ripido, o addirittura terrazzato, e con frequenti interruzioni e varchi di accesso alla spiaggia che non sempre sono attrezzati in modo da impedire l'erosione da parte del vento e per il passaggio delle persone. Inoltre, i frequenti spianamenti meccanici che vengono operati sulla spiaggia vanno spesso a intaccare il piede delle dune (Fig. 19.12).

In considerazione del fatto che le dune rappresentano una difesa che coniuga il valore estetico, il valore ambientale e l'efficacia protettiva, sarebbe auspicabile istituire una politica di salvaguardia e di ripristino di questo patrimonio ambientale, sull'esempio di quanto già fatto lungo altri litorali del Veneto.



Fig. 19.12 - Dune fortemente degradate nella porzione meridionale del litorale di Sottomarina.

19.2.4.2. Lido

Lungo il litorale del Lido è stato identificato un unico tratto a rischio moderato (tratto LE), localizzato nella porzione meridionale del litorale, per una lunghezza di circa 280 m. In corrispondenza del limite verso terra della spiaggia emersa, ampia in media 129 m, si sono formati accumuli eolici spontanei che non possono essere considerati una difesa, in quanto privi di alcun carattere di stabilità e continuità (Fig. 19.13).

L'assenza di difese e la presenza del complesso ospedaliero di S. Camillo (Fig. 19.14), posto a bassa quota direttamente alle spalle della spiaggia, concorrono all'identificazione di un rischio moderato per questo tratto, per il quale esiste una certa probabilità di inondazione in caso di mareggiata associata all'acqua alta.

L'ampiezza elevata della spiaggia emersa consentirebbe, con relativa semplicità, la costruzione di una duna, che potrebbe avvenire anche in modo spontaneo, vista la notevole efficacia del trasporto eolico lungo il litorale. Il processo di crescita e stabilizzazione della duna andrebbe favorito con l'utilizzo di frangivento e con idonea fitostabilizzazione, anche in più fasi, che garantisca anche un'adeguata protezione dalla deflazione di sabbia verso le strutture dell'ospedale.



Fig. 19.13 - Accumuli eolici spontanei che si formano addossati alle strutture del San Camillo.



Fig. 19.14 - Tratto a rischio moderato sul litorale del Lido di Venezia, sul retro spiaggia si affacciano direttamente le strutture ospedaliere del San Camillo.

19.2.4.3 Cavallino

In tutta l'estensione del litorale del Cavallino, sono stati identificati due soli tratti a rischio moderato (CVE, CVI). Il primo (esteso 220 m) presenta come difesa un piccolo argine che raggiunge i 3,2 m di quota, ma che per le sue condizioni di bassa efficienza non è in grado di compensare le condizioni morfologiche e dinamiche non ottimali. Il secondo, per una lunghezza di 350 m circa, è privo di strutture di difesa che sono rappresentate, nei tratti adiacenti, da un muro paraonde. L'unico limite fisico tra il campeggio e la spiaggia emersa è qui invece costituito da una rete.

Per questi tratti, soprattutto nel secondo caso, è auspicabile che venga realizzato, in continuità con i manufatti e con le nuove dune costruite dal CVN, un muro antisifonamento. Un nuovo cordone dunoso, viceversa, potrebbe essere realizzato solo se si prevede l'ampliamento ulteriore dell'arenile mediante rifluimento.

19.2.4.4. Jesolo

Il litorale di Jesolo Lido soffre di problemi cronici di erosione e rischio da mareggiata. La causa principale è stata la costruzione edilizia intensiva, fin dagli anni '50, che non tenne conto della dinamicità che caratterizza i litorali dell'Alto Adriatico. L'occupazione dello spazio costiero avvenne qui con l'ottica della massima aderenza al mare, a discapito del cordone dunoso che fu smantellato. In seguito, si continuò sulla stessa linea aggravando sempre di più il problema. Le mareggiate del 1966-67 resero evidente l'errore che era stato fatto e fu quindi necessaria l'attuazione di sistemazioni atte a migliorare la protezione del litorale. Tuttavia il litorale rimase in precarie condizioni di sicurezza fino ai tempi recenti. Solamente nel 1999 il *Magistrato alle Acque di Venezia - Consorzio Venezia Nuova* ha intrapreso una campagna di lavori di riqualificazione del litorale di Jesolo Lido, all'interno del vasto progetto di difesa dalle acque alte e dalle mareggiate dei litorali posti sotto la propria competenza. I lavori eseguiti, tra i quali un vasto rifluimento, hanno consentito la messa in sicurezza di ampi tratti e mi-

griorato le condizioni morfologiche e paesaggistiche. Tra di essi assume particolare rilevanza un settore di circa 2130 m (JC) dove, in corrispondenza di un entroterra densamente urbanizzato, è stata realizzata una struttura di difesa nel retrospiaggia. Questa consta di un'ampia gradonata che sale dalla spiaggia fino a un percorso pedonale, posto a una quota media di 2,5 m (CVN, 2004a; 2004b; 2004c). Continuando verso est, il successivo tratto (JD) si presenta però tuttora privo di qualsiasi protezione e lungo il retrospiaggia corre una passeggiata, realizzata in piastrelle di cemento, senza alcuna valenza difensiva. Come evidenziato in precedenza, lungo questo settore si è costruito fin dagli anni '50 senza nessun criterio di compatibilità ambientale né di sicurezza per gli edifici stessi. L'unica difesa, posta in opera dopo la mareggiata del 1966, consiste in una palancola in calcestruzzo infissa nella spiaggia ad una distanza di 30 m circa dagli edifici e ora soffolta. Questo tratto fa registrare pertanto un rischio moderato, che risulta ancora più elevato (rischio medio) nel settore posto immediatamente a est (JE) e lungo circa 1000 m (Fig. 19.15).

Si tratta di settori fortemente urbanizzati che hanno subito evidenti danni in occasione delle mareggiate del 66/67. Nonostante l'ampliamento della spiaggia, dopo l'intervento di rifluimento nel 1999 che ha portato a un'ampiezza intorno agli 80 m, l'assenza di difese dalle acque alte rende critica la situazione in quest'area, per la quale sussiste la probabilità di allagamento dell'immediato entroterra in caso di mareggiata con $Tr=10$ anni e concomitante acqua alta. Per questi tratti adiacenti sarebbe auspicabile la messa in opera di una difesa dall'ingressione marina. Tale difesa potrebbe essere del tipo rigido sull'esempio e in continuazione di quella presente nel tratto JC, oppure del tipo morbido, con la costituzione di un cordone dunoso di altezza e ampiezza adeguati, debitamente fitostabilizzato e protetto da staccionate e passerelle di accesso alla spiaggia, sull'esempio di quanto fatto sul litorale del Cavallino e in destra Piave (JK). Segue una porzione di litorale (tratti JG e JF) che mostra condizioni di sicurezza grazie alla presenza di opere di difesa rigide, tra cui una gradonata con muro paronade con sommità a 2,7 m realizzata recentemente lungo 1700 m (tratto JF, Fig. 19.16).

Tutta la fascia orientale del litorale di Jesolo, caratterizzata da un entroterra mediamente urbanizzato (nuclei di case), presenta rischio moderato (tratti JH, JJ, JI, JK), dovuto in primo luogo alle condizioni morfologiche ed evolutive. La completa assenza di difese fa sì che sussistano condizioni di vulnerabilità elevata per JH e JJ, mentre nel caso JI è presente un argine/duna con una bassa efficienza in quanto privo di vegetazione e di protezione. Il tratto più orientale (JK) era stato interessato già prima del 2000 da un intervento di risistemazione delle dune, che però sono state investite e parzialmente distrutte dalla mareggiata del novembre 2000 (Fig. 19.17). Le dune, nuovamente ricostituite, non hanno però quota sufficiente (in media



Fig. 19.15 - Tratto privo di difese sul litorale di Jesolo.



Fig. 19.16 - Difesa rigida costruita in tempi recenti sul litorale di Jesolo.



Fig. 19.17 - Porzione settentrionale del litorale di Jesolo: erosione della spiaggia e delle dune in seguito alla mareggiata del novembre 2000.

3 m) a garantire una difesa adeguata. Inoltre la linea di riva appare in netta regressione con quasi -3,8 m/anno e non garantisce quindi capacità difensive a lungo termine. Infatti, pur essendo attualmente la spiaggia totale, incluse le dune, molto ampia (123 m), lo spazio emerso prospiciente le dune è ridotto. Le dune vengono quindi facilmente aggredite dalle onde che non risultano abbastanza smorzate dalla spiaggia e dai fondali piuttosto ripidi. Questa porzione di litorale va quindi monitorata e mantenuta con interventi continui. Non è invece auspicabile, per esigenze morfodinamiche e paesaggistiche, intervenire con strutture rigide.



Fig. 19.18 - La spiaggia di Eraclea ampliata in seguito al rifluimento.

19.2.4.5. Eraclea Mare

Il litorale di Eraclea Mare, dopo la mareggiata del 1966, è stato munito di difese rigide per quasi tutta la sua lunghezza. L'intervento di rifluimento realizzato nel 2004 ha permesso di ricostruire la spiaggia in alcuni tratti dove era stata completamente erosa. Si è ottenuto così un miglioramento delle caratteristiche paesaggistiche e turistiche dell'area, ma anche di quelle morfologiche, grazie al ripristino della spiaggia, che funge da naturale difesa dissipando l'energia delle onde.

Nella mareggiata del novembre 2000 infatti si era osservato che l'impatto diretto del moto ondoso sulle difese poteva danneggiarle in maniera consistente. Oltre all'energia intrinseca del mare, si abbattono sui manufatti materiali presi in carico dalla mareggiata, come tronchi d'albero e massi tolti ai pennelli o ai rinforzi della palancola, causando danni in grado di deteriorare in breve tempo i manufatti stessi. Si constatò inoltre che, nonostante la quota di 3 m del muro paraonde, le onde, frangendosi direttamente sulla struttura, avrebbero potuto sormontarla allagando le aree retrostanti. Per tali motivi la costruzione di una nuova spiaggia è risultata particolarmente importante ai fini della mitigazione degli eventi di alta energia. Nello stesso tempo, la presenza di una spiaggia emersa di ampiezza adeguata nelle zone dove sono presenti le dune costituisce una difesa per le dune stesse, garantendo l'attenuazione dell'energia del moto ondoso e la possibilità di riequilibrio spontaneo della duna, qualora venisse intaccata durante gli eventi più intensi.

Per gli stessi motivi appare auspicabile l'intervento di rifluimento programmato per costituire una nuova spiaggia anche lungo il litorale di Valle Altanea (Duna Verde e Porto Santa Margherita).

Nonostante l'intervento di rifluimento effettuato, due tratti (ED ed EF) conservano un valore di rischio significativo (moderato) anche se minore rispetto alle condizioni pre-rifluimento, per una lunghezza di 240 e 174 m rispettivamente. Tali tratti sono ubicati nel settore nord-orientale che è difeso dalla sola palancola soffolta e sono privi delle dune presenti nei

tratti adiacenti. Dove le dune sono sopravvissute alle spalle della palancola, l'intervento di rifluimento offre nuova possibilità di alimentazione eolica per le dune stesse e quindi ne assicura una migliore possibilità di conservazione nel tempo anche nel fronteggiare gli eventi erosivi occasionali (Fig. 19.18).

Sarebbe perciò auspicabile la costituzione di nuove dune in questi tratti e la riqualificazione di quelle presenti nei tratti adiacenti, così da costituire una difesa dalle mareggiate che sia nel contempo conciliabile con gli aspetti paesaggistici e l'utilizzo turistico dell'area.

19.2.4.6 Valle Vecchia

Il litorale di Valle Vecchia presenta nella sua estremità orientale un settore fortemente dinamico legato alla vicinanza della Bocca di Baseleghe; questo contesto ha determinato la progressiva erosione dell'estremità più vicina alla bocca per una lunghezza di circa 450 m (tratto VE). L'elevata vulnerabilità reale riscontrata è dovuta soprattutto al rapido arretramento della linea di riva che ha portato alla quasi totale scomparsa della spiaggia; il rischio moderato deriva invece dalla bassa antropizzazione dell'entroterra ("Aree agricole"). Nonostante l'elevata valenza ambientale del territorio retrostante, che ricade nell'area SIC "Laguna di Caorle e Foce del Tagliamento" e che determina l'incremento, se computato, del valore di rischio, è auspicabile che non vengano effettuati interventi in questa zona, che può ragionevolmente essere mantenuta libera di evolversi.

19.2.4.7 Bibione

Sul litorale di Bibione le condizioni morfologiche ed evolutive, unitamente alla presenza di argini e dune costiere residue, garantiscono a circa 6,7 km di litorale una vulnerabilità reale bassa o molto bassa.

Quando i valori di ampiezza della spiaggia diminuiscono sensibilmente per cause naturali o dove l'azione antropica ha danneggiato le difese naturali, si assiste però ad una certa criticità del litorale.

Sulla porzione occidentale, per una lunghezza totale

di 1,4 km è stato evidenziato un rischio moderato (tratti BF, BG, BH, BI). I tratti citati presentano caratteristiche morfodinamiche simili; sono privi di difese rigide e presentano sistemi dunosi degradati con frequenti varchi, aree prive di vegetazione e quote irregolari.

Il tratto BF, con una lunghezza di circa 300 m, è quello che presenta la duna con le quote maggiori (tra 3,7 e 4,6 m), ben lunghi però, a causa delle modificazioni antropiche intervenute, dall'esplicitare in maniera soddisfacente la sua potenzialità difensiva. Più che di una duna continua si tratta infatti di lembi di dune interrotti da frequenti varchi e aree spianate. Nell'entroterra sono presenti aree residenziali.

Il miglioramento delle condizioni e quindi dell'efficienza delle dune sarebbe facilmente realizzabile con interventi di protezione delle dune stesse e della vegetazione spontanea, per limitare i danni da calpestio e le azioni di sbancamento; in corrispondenza dei varchi di maggiori dimensioni andrebbe favorito, attraverso il posizionamento di frangivento, l'accumulo spontaneo di sedimento almeno nella fascia più prossima alla spiaggia emersa. Verso l'interno potrebbe essere previsto il riporto di sabbia, per colmare le depressioni, opportunamente fitostabilizzata.

Il tratto BG, lungo circa 400 m, è praticamente privo di difese, in quanto l'unico rilevato presente è un piccolo argine in sabbia, la cui quota è però troppo ridotta (2,8 m). L'entroterra è caratterizzato dalla presenza di ampie zone residenziali. L'ampiezza della spiaggia emersa, pari in media a 107 m, consentirebbe in parte l'ampliamento dell'argine presente sia in altezza che in larghezza, con una minima occupazione di arenile disponibile a fini turistici. Questo si potrebbe facilmente ottenere mediante la collocazione di frangivento posizionati a una distanza di alcuni metri verso mare rispetto all'attuale rete, al fine di favorire l'accumulo eolico spontaneo. La fitostabilizzazione potrebbe essere effettuata con graminacee locali, ricreando così anche una certa continuità paesaggistica con i tratti precedenti. E' però necessario che gli spianamenti di prassi per la pulizia della spiaggia vengano limitati, adottando una fascia di rispetto nella zona prossima ai frangivento. Eventuali passerelle sopraelevate saranno utili per evitare che la presenza di varchi di accesso alla spiaggia limitino l'efficacia difensiva.

Per i tratti BH e BI, per una lunghezza totale di circa 740 m, gli elementi fondamentali che riducono la soglia di sicurezza sono rappresentati dalla scarsa elevazione ed efficienza delle difese morbide e dalla presenza alle spalle di aree residenziali, anche se separate dalla spiaggia da una zona a pineta. In maniera analoga al caso del tratto BF, gli interventi possono essere tesi a migliorare dimensioni ed efficienza della duna, mediante utilizzo di frangivento. Interventi di fitostabilizzazione ed eventuali apporti di materiale esterno potrebbero essere necessari per il tratto BI, dove la situazione è più critica, perché di fatto non esiste la duna, bensì un argine di dimensioni molto ridotte e molto sottile. Nel tratti adiacenti (BH e BJ),

dove la duna conserva alcuni caratteri di naturalità e ampiezza e quota discrete, sarebbero sufficienti semplici interventi di protezione. In questo modo l'efficienza della difesa sarebbe facilmente aumentata in modo spontaneo.

Un elemento critico, per gli ultimi tre casi citati, è rappresentato dalla presenza di strutture fisse (bar/ristoranti) costruiti direttamente sulla spiaggia emersa e che non hanno alcuna elevazione rispetto a questa (Fig. 19.19). Essi costituiscono dei veri e propri punti deboli nel sistema difensivo. Premesso che difficilmente potrà essere garantita la loro difesa permanente, se non con pesanti e costosi interventi strutturali di dubbio risultato per la spiaggia stessa, potrebbe essere auspicabile almeno la presenza di una difesa alle loro spalle, sempre di tipo morbido, approfittando proprio della presenza di una vasta area verde.

Nella parte centrale del litorale, quella maggiormente urbanizzata, dove nell'analisi del 2001 si identificava un tratto a rischio moderato (BO, 713 m), la messa in sicurezza è stata effettuata grazie alla costruzione di un ampio rilevato con pista pedonale e ciclabile in sommità, che raggiunge la quota di 3 m. La realizzazione dell'opera è stata possibile anche grazie all'ampiezza molto elevata della spiaggia; va tuttavia rilevato che questo manufatto risulta meno efficiente ai fini della protezione a lungo termine del litorale rispetto a una duna costiera vera e propria, oltre a essere oggettivamente di scarso valore ambientale e paesaggistico. Il rilevato non è in grado di assorbire l'energia del moto ondoso se non lesionandosi e soprattutto non è in grado di autoripararsi come può fare invece un'avanduna; inoltre offre scarsa se non nulla protezione dalla deflazione eolica, che determina lo spostamento di sedimento verso le aree urbanizzate, richiedendo pulizia continua e protezioni invernali.

La porzione orientale del litorale di Bibione presenta i tratti più critici dal punto di vista della vulnerabilità potenziale a causa di una linea di riva soggetta a forte arretramento, erosione dei fondali, scarsa o nulla ampiezza della spiaggia emersa. La presenza o meno di difese riduce l'individuazione dei casi più critici ai trat-



Fig. 19.19 - Esempio di strutture fisse costruite direttamente sulla spiaggia sul litorale di Bibione; con le acque alte è frequente l'allagamento del retrospiaggia.

ti BR, BS e BU, questi ultimi lunghi rispettivamente 308, 455 e 460 m. Il tratto BS presenta un'ampiezza di spiaggia ridotta in seguito alla recente erosione; la spiaggia vera e propria è rappresentata da uno scanno sabbioso separato dalla linea di costa da una lama d'acqua (Lama di Revelino). La forte tendenza all'arretramento, unitamente alla presenza di un'area fortemente urbanizzata direttamente alle spalle della lama d'acqua, fanno sì che questa zona possa essere considerata a rischio medio. Effettivamente, durante la mareggiata che si è verificata nel novembre del 2000, lo scanno sabbioso ha subito il completo sormonto che ha portato all'allagamento della lama, con le onde che investivano il suo limite naturale di conterminazione, determinando fenomeni di erosione al piede dei terreni.

Il tratto BU è il più critico del litorale: tutti i parametri presi in considerazione concorrono nel determinare una vulnerabilità reale estremamente elevata. Ne consegue un rischio molto elevato nei confronti di un entroterra in prevalenza agricolo, ma caratterizzato dalla presenza di alcuni lembi di un ambiente naturale estremamente prezioso. La pineta costiera si trova ormai a ridosso della linea di riva, essendo andata perduta la protezione naturale offerta dalle avandune e dalla spiaggia emersa.

Sono infatti evidenti i segni di allagamenti, che si sono tra l'altro verificati anche durante la già citata mareggiata del 2000 (Fig. 19.20).

Si tratta in generale di una zona a elevata dinamicità, che subisce fluttuazioni repentine in relazione alla dinamica della foce del Tagliamento.

Gli interventi in questa zona sono quindi difficili e bassa è nel contempo la capacità previsionale in relazione all'efficacia degli stessi. Sarebbe auspicabile che la zona conservasse il più possibile un certo grado

di libertà, consentito dalla mancanza di infrastrutture nell'immediato entroterra. Ciò non può avvenire nel tratto BS, fortemente condizionato dalla presenza di una zona residenziale molto prossima alla linea di riva. Per questo tratto sarebbe forse consigliabile la costruzione di una difesa rigida a tutela dell'abitato, o perlomeno un rinforzo del margine di conterminazione della lama d'acqua.

Ringraziamenti

Questo lavoro utilizza una grande mole di dati, in parte inediti, in parte editi o raccolti presso strutture che gentilmente hanno messo a disposizione il materiale per la consultazione. A tale proposito è doveroso ringraziare il Genio Civile OO.MM. di Venezia nella persona del geom. Biscontin per la disponibilità dimostrata e per i preziosi consigli; il Magistrato alle Acque di Venezia - Consorzio Venezia Nuova, nelle persone degli ingg. Ardone, Cecconi, Libardo e Rosselli, per aver permesso la consultazione dell'archivio dati presso il Centro Informativo e per aver fornito i dati più recenti sui rilievi lungo il litorale in formato digitale. Un sentito ringraziamento va inoltre ai Comuni di Jesolo, Eraclea, Caorle e San Michele al Tagliamento per aver fornito informazioni e studi aggiornati riguardanti i tratti costieri di competenza e agli amici Castelli e Sabbatani della Te.Ma di Faenza, per l'aggiornamento sui dati dei capisaldi del territorio provinciale.

Si ringraziano infine i collaboratori e gli studenti che nel corso degli anni hanno condiviso con noi l'entusiasmo per lo studio della dinamica costiera e delle problematiche erosive delle spiagge, in particolare Francesca Delli Quadri e Laura Schiozzi.



Fig. 19.20 - Retrospiaggia allagato sul litorale orientale di Bibione nei giorni successivi alla mareggiata del novembre 2000.

20 GEOLOGIA, TERRITORIO E AMBIENTE: ESEMPI DI ASPETTI APPLICATIVI

VALENTINA BASSAN¹, MASSIMO GATTOLIN², ANDREA VITTURI³

20.1. GENERALITÀ

La normativa nazionale e regionale impone la conoscenza della geologia in ordine a una serie di attività settoriali: è presente ormai da alcuni decenni la coscienza che le scelte sul territorio sono tanto meno costose (in senso sia economico che ambientale) e tanto migliore il rapporto costi/benefici quanto più è accurato il quadro preventivo delle conoscenze, che consente di evitare imprevisti, nella fattispecie geologici, e quindi inutili e onerosi fermo cantieri.

Alcune delle competenze attribuite dalla normativa alla Provincia, e direttamente gestite dal Servizio Geologico, Difesa del Suolo e Tutela del Territorio, sono le seguenti:

- attività conoscitiva su suolo e sottosuolo (realizzata mediante progetti i cui dati sono organizzati nelle banche dati informatizzate e illustrati mediante cartografie tematiche) su: rischio idrogeologico, subsidenza, erosione costiera, intrusione salina;
- programmazione, progettazione, approvazione ed esecuzione degli interventi di difesa idrogeologica nonché dei relativi manufatti, funzionali alla prevenzione di dissesti e alla messa in sicurezza della rete viaria della Provincia;
- programmazione, progettazione, approvazione ed esecuzione degli interventi per il consolidamento degli abitati;
- realizzazione di pronti interventi relativamente alle opere di cui ai punti precedenti;
- coordinamento e cofinanziamento ai Comuni e Consorzi di bonifica per i Piani delle Acque;
- attività di vigilanza e sanzionatoria; ordinanze di ricomposizione ambientale in materia di attività estrattiva (cave e migliorie fondiari);
- funzioni sia di polizia mineraria su terraferma che relative alle risorse geotermiche su terraferma;
- scambio termico senza movimentazione d'acqua di falda;
- procedimenti tecnico amministrativi, attività di controllo e di certificazione del completamento degli interventi di bonifica dei siti contaminati.

Si rinvia anche alla successiva scheda "Principali normative e regolamenti di riferimento nel campo geologico e di difesa del suolo a livello nazionale e regio-

nale veneto" e a quanto presente nel sito <http://www.difesasuolo.provincia.venezia.it/>.

Gli studi e le elaborazioni cartografiche presentate nell'Atlante Geologico rappresentano un compendio dell'attività conoscitiva relativa a suolo e sottosuolo svolta dalla Provincia nell'arco di oltre trent'anni. Come è noto e ampiamente illustrato nei capitoli precedenti, la cartografia tematica e le banche dati realizzate con la mole di conoscenze acquisite rappresentano un prezioso *know how* agevolmente applicabile a supporto di tutta una serie di scelte che riguardano il territorio.

In questo senso le principali attività che il Servizio Geologico provinciale attualmente svolge sono:

- fornitura e scambio dati (stratigrafici, idrogeologici, pedologici, geomorfologici, attività estrattiva ...) a utenti pubblici e privati a supporto di progetti di varia natura;
- supporto istruttorio all'esame dei Piani di Assetto del Territorio (PAT); in particolare la base conoscitiva della Provincia entra in gioco nella fase della copianificazione con i Comuni sia con la fornitura di dati per il quadro conoscitivo (in particolare per la matrice suolo e sottosuolo) sia nella fase interpretativa a supporto delle scelte; inoltre, dall'approvazione del Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (PTCP) da parte della Regione con DGR n° 3359 del 30.12.2010, la Provincia ha competenza nella fase di approvazione del PAT; il contributo istruttorio del Servizio Geologico per la verifica delle tavole del quadro conoscitivo (carta geomorfologica, idrogeologica e litologica) e di quelle di progetto (carta dei vincoli, delle invarianti, delle fragilità sia con i vari gradi di compatibilità geologica e sia in rapporto alle trasformabilità previste) è realizzabile proprio grazie al quadro delle conoscenze illustrate nel presente volume;
- supporto istruttorio di progetti in esame presso l'Ufficio VIA provinciale per rilevanti progetti che interessano suolo e sottosuolo;
- supporto istruttorio all'esame di pratiche di minor rilievo (avvicinamenti ferroviari, spargimento fanghi e liquami in agricoltura...).

In questo capitolo però non si vuol solo evidenziare le attuali competenze provinciali nel campo geologico e della difesa del suolo, ma principalmente illustrare, per sommi capi, vari aspetti in cui la geologia è di loro valido supporto nel territorio provinciale di Venezia. Poiché però molti di tali aspetti sono già stati affrontati in altre parti del GeoAtlante, si farà rinvio, in questi casi, ai capitoli specifici per approfondimenti.

¹ Provincia di Venezia, Servizio Geologico, Difesa del Suolo e Tutela del Territorio.

² Provincia di Venezia, dirigente del Settore Difesa del Suolo e Tutela del Territorio.

³ Geologo in Padova; già dirigente della Provincia di Venezia, Settore Protezione Civile e Difesa del Suolo.

PRINCIPALI NORMATIVE E REGOLAMENTI DI RIFERIMENTO NEL CAMPO GEOLOGICO E DI DIFESA DEL SUOLO A LIVELLO NAZIONALE E REGIONALE VENETO

Pietro Zangheri e Valentina Bassan

ACQUE SOTTERRANEE E SUPERFICIALI - IDROGEOLOGIA

- R.D. n° 1775/1933 "Testo unico sulle acque".
- D.Lgs. n° 275/1993 "Riordino in materia di acque pubbliche".
- D.Lgs. n° 31/2001 "Attuazione della Direttiva 98/83/CE relativa alla qualità delle acque destinate al consumo umano".
- Conferenza permanente per i rapporti tra lo Stato e le Regioni e le Province Autonome - Accordo 12.12.2002 "Linee guida per la tutela della qualità delle acque destinate al consumo umano e criteri generali per l'individuazione delle aree di salvaguardia delle risorse idriche di cui all'art. 21 del decreto legislativo 11.05.1999, n° 152".
- D.Lgs. n° 152/2006 "Norme in materia ambientale" (parte III^a).
- D.C.R.V. n° 107/2009 "Piano di Tutela delle Acque".
- D.P.R. n° 128/1959 "Norme di polizia delle miniere e delle cave".
- L.R.V. n° 44/1982 "Norme per la disciplina dell'attività di cava".
- L.R.V. n° 40/1989 "Disciplina della ricerca, coltivazione e utilizzo delle acque minerali e termali".
- Decreto 29.12.2003 "Attuazione della direttiva n. 2003/40/CE della Commissione nella parte relativa ai criteri di valutazione delle caratteristiche delle acque minerali naturali di cui al decreto ministeriale 12.11.1992, n° 542, e successive modificazioni, nonché alle condizioni di utilizzazione dei trattamenti delle acque minerali naturali e delle acque di sorgente".
- D.Lgs. n° 22/2010 "Riassetto della normativa in materia di ricerca e coltivazione delle risorse geotermiche, a norma dell'articolo 27, comma 28, della legge 23.07.2009, n° 99".
- Delibera Consiglio Provinciale Venezia n° 47/2011 "Regolamento provinciale per la realizzazione di sistemi di scambio termico che non prevedono movimentazione di acqua di falda".

URBANISTICA - GEOLOGIA DEL TERRITORIO - PIANIFICAZIONE E GESTIONE DELL'AMBIENTE

- L.R.V. n° 11/2004 "Norme per il governo del territorio".
- D.G.R.V. n° 3178/2004 "Atti di indirizzo per dare applicazione alle nuove norme per il governo del territorio".
- D.G.R.V. n° 2948/2009 "L. 3.08.1998, n° 267 - Nuove indicazioni per la formazione degli strumenti urbanistici - Valutazione di compatibilità idraulica per la redazione degli strumenti urbanistici - Modalità operative e indicazioni tecniche".

V.I.A. - V.A.S.

- D.Lgs. n° 152/2006 e s.m.i. "Norme in materia ambientale" (parte II^a).

TUTELA DEL PAESAGGIO E DEI BENI CULTURALI

- Legge 6.12.1991, n° 394 "Legge quadro sulle aree protette".
- D.Lgs. n° 42/2004 "Codice dei beni culturali e del paesaggio, ai sensi dell'articolo 10 della legge 6.07.2002 n° 137".
- D.P.C.M. 12.12.2005 "Codice dei beni culturali e del paesaggio".

CAVE E MINIERE (RISORSE GEOTERMICHE - ENERGIA RINNOVABILE - ACQUE MINERALI E TERMALI)

- R.D. n° 1443/1927 "Norme di carattere legislativo per disciplinare la ricerca e la coltivazione delle miniere nel Regno".
- D.G.R.V. n° 2922/2003 "D.Lgs. 5.02.1997, n° 22 - D.M. 25.10.1999, n° 471. Definizione delle linee guida per il campionamento e l'analisi dei campioni dei siti inquinati. Protocollo operativo".
- D.Lgs. n° 36/2003 "Attuazione della direttiva 1999/31/CE relativa alle discariche di rifiuti".
- D.Lgs. n° 152/2006 "Norme in materia ambientale".
- D.G.R.V. n° 2424/2008 "Procedure operative per la gestione delle terre e rocce da scavo ai sensi dell'articolo 186 del decreto legislativo 3.04.2006, n° 152".
- D.G.R.V. n° 794/2009 "Procedure operative per la gestione delle terre e rocce da scavo - Integrazioni alla D.G.R.V. n° 2424/2008, ai sensi dell'articolo 185 del decreto legislativo 3.04.2006, n° 152".
- Decreto 27.09.2010 "Definizione dei criteri di ammissibilità dei rifiuti in discarica, in sostituzione di quelli contenuti nel decreto del Ministro dell'ambiente e della tutela del territorio 3.08.2005".
- D.G.R.V. n° 464/2010 "Protocollo operativo per l'esecuzione di indagini mirate alla determinazione delle concentrazioni di metalli e metalloidi nei

TERRE DA SCAVO, DISCARICHE E SITI INQUINATI

suoli attribuibili al fondo naturale o ad inquinamento diffuso”.

DIFESA DEL SUOLO E PROTEZIONE CIVILE

- R.D. n° 3267/1923 “Riordinamento e riforma della legislazione in materia di boschi e di terreni montani” (vincolo idrogeologico).
- D.Lgs. n° 180/1988 “Norme urgenti per la prevenzione del rischio idrogeologico ed a favore delle zone colpite da disastri franosi nella regione Campania”.
- Legge n° 225/1992 “Istituzione del Servizio Nazionale della Protezione Civile”.
- D.Lgs. n° 112/1998 “Conferimento di funzioni e compiti amministrativi dello Stato alle regioni ed agli enti locali, in attuazione del capo I della legge 15.03.1997, n° 59”.
- Legge n° 365/2000 “Conversione in legge, con modificazioni, del decreto-legge 12.10.2000, n° 279, recante interventi urgenti per le aree a rischio idrogeologico molto elevato ed in materia di protezione civile, nonché a favore delle zone della regione Calabria danneggiate dalle calamità idrogeologiche di settembre ed ottobre 2000”.
- D.P.R. 8.02.2001, n° 194 “Regolamento recante nuova disciplina della partecipazione delle organizzazioni di volontariato alle attività di protezione civile”.
- L.R.V. n° 401/2001 “Conversione in legge, con modificazioni, del decreto-legge 7.09.01 n° 343, recante disposizioni urgenti per assicurare il coordinamento operativo delle strutture preposte alle attività di Protezione Civile”.
- L.R.V. n° 11/2001 “Conferimento di funzioni e compiti amministrativi alle autonomie locali in attuazione del decreto legislativo 31.03.1998, n. 112”.
- D.M. Interno 2.03.2002 “Costituzione del Comitato operativo della protezione civile”.
- D.M. Interno 12.04.2002 “Costituzione della Commissione nazionale per la previsione e la prevenzione dei grandi rischi”.

- Circolare PCM - DPC n° DPC/CG/0035114 del 30.09.2002 “Ripartizione delle competenze amministrative in materia di protezione civile”.
- D.Lgs. n° 152/2006 “Norme in materia ambientale” (parte III^a).
- D.G.R.V. n° 2948/2009 “L. 3 agosto 1998, n° 267 - Nuove indicazioni per la formazione degli strumenti urbanistici. Modifica delle delibere n° 1322/2006 e n° 1841/2007 in attuazione della sentenza del Consiglio di Stato n° 304 del 3 aprile 2009”.
- D.Lgs. n° 49/2010 “Attuazione della direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi da alluvioni”.

INDAGINI GEOLOGICHE - GEOLOGIA APPLICATA ALL'INGEGNERIA - GEOTECNICA - GEOLOGIA TECNICA - COSTRUZIONI

- Legge n° 64/1974 “Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche”.
- Legge n° 464/1984 “Norme per agevolare l'acquisizione da parte del servizio geologico della direzione generale delle miniere del ministero dell'industria, del commercio e dell'artigianato, di elementi di conoscenza relativi alla struttura geologica e geofisica del sottosuolo nazionale”.
- D.P.R. n° 380/2001 “Testo unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia edilizia”.
- D.M. n° 14.01.2008 “Norme Tecniche per le Costruzioni”.

LAVORI PUBBLICI

- D.Lgs. n° 163/2009 “Codice dei contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture in attuazione delle direttive 2004/17/CE e 2004/18/CE”.
- D.P.R. n° 207/2010 “Regolamento di esecuzione e attuazione del decreto legislativo 12.04.2006, n° 163, recante «Codice dei contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture in attuazione delle Direttive 2004/17/CE e 2004/18/CE»”.

20.2. PROBLEMATICHE GEOLOGICHE VENEZIANE

Le caratteristiche geologiche del territorio della provincia di Venezia, descritte nel presente Atlante, evidenziano una serie di problematiche con cui le opere che interessano suolo e sottosuolo si devono necessariamente confrontare e interfacciare.

La concomitanza dei fattori:

- morfologia a catino e quote sotto il livello mare,
- basse pendenze,
- subsidenza (naturale e antropica),
- presenza di grandi fiumi nei loro tratti terminali,
- bonifica idraulica,
- smaltimento acque meteoriche (urbanizzazione dif-

fusa, precipitazioni intense, pendenze spesso bassissime ...),

- erosione costiera con presenza di mareggiate, determina l'esposizione del territorio veneziano a gravi problemi di ordine idraulico, con frequenti allagamenti dei bacini connessi alla rete minore e pericolose alluvioni determinate dai corsi d'acqua principali, e inoltre danni frequenti nelle aree costiere per mareggiate.

La presenza del fenomeno dell'intrusione salina nella falda e nei corsi d'acqua determina invece notevoli problemi alle produzioni agricole soprattutto a danno dei territori altimetricamente più bassi e delle colture orticole di Chioggia; l'analoga problematica nel terri-

torio di Cavallino, invece, è temporaneamente risolto dall'utilizzo di acqua di falde in pressione, ma il problema potrà essere realmente risolto solo con la costruzione di un adeguato acquedotto dedicato a scopi irrigui.

La presenza di

- variabilità geologica verticale e laterale,
- caratteristiche geomeccaniche dei terreni generalmente scadenti e variabilissime,
- terreni saturi,
- falde subsuperficiali con scarso potenziale idraulico e deflusso condizionato da numerose variabili esterne (corsi d'acqua, idrovore e pompaggi, precipitazioni, maree ...),

determina notevoli problemi per la dislocazione e la costruzione di edifici e opere in genere, tanto più di quelle in sottosuolo, dove è sempre necessario l'aggottamento della falda. L'immediata soggiacenza dei sistemi acquiferi superficiali ne determina poi una certa vulnerabilità, ancorché si tratti di falde di poco pregio dal punto di vista idropotabile. Le generalmente scadenti e variabilissime caratteristiche geomeccaniche impongono quasi sempre indagini specifiche a scala locale e scelte progettuali onerose per la stabilità delle opere.

Lo sfruttamento del sistema multifalda del sottosuolo della Provincia, soprattutto laddove l'estrazione di acqua a uso acquedottistico, minerale e geotermico è molto intensa, ha già determinato problemi di depressurizzazione di alcune falde confinate. Oltre a un depauperamento quantitativo della risorsa, ciò può determinare un incremento della subsidenza naturale, che si sta già registrando.

La presenza d'idrocarburi nel sottosuolo interessato da opere in sottosuolo impone attenzione nelle operazioni di scavo che possono risultare a tratti pericolose nel caso s'incontrino sacche di gas intrappolato in concomitanza di lenti di torba e sostanza organica. Inoltre periodicamente si ripresentano proposte di estrazione di idrocarburi al largo di Chioggia e Venezia che innescano polemiche sul rischio d'incremento della subsidenza già naturalmente presente; il timore è principalmente rivolto al preziosissimo centro storico di Venezia e all'impatto che tale fenomeno avrebbe sull'economia (turistica, agricola ...) litoranea, ma non si devono dimenticare gli importanti impatti che ulteriori variazioni di pendenza connessi con anche piccoli contributi di subsidenza possono indurre sul complicato sistema idraulico dell'entroterra veneziano.

Si ricordano infine anche le problematiche legate alla presenza siti inquinati e di geositi, nonché quanto attiene alla geoarcheologia.

20.3. ESEMPI APPLICATIVI

L'attività pluridecennale del Servizio Geologico provinciale nella realizzazione di ricerche geologiche ha condotto alla predisposizione di cartografie tematiche

e banche dati su suolo e sottosuolo che sono state ampiamente utilizzate con scopi applicativi da vari utenti, sia pubblici che privati, ma soprattutto dalla Provincia stessa.

Oltre ai campi applicativi ampiamente illustrati in alcuni capitoli precedenti, riguardanti l'importanza delle conoscenze geologiche nell'ambito del reperimento di materiali da costruzione (**attività estrattiva**⁴), per il **corretto utilizzo dell'acqua sotterranea** (usi acquedottistico, industriale, irriguo, domestico⁵ e geotermico⁶) e per il ripascimento costiero⁷, vengono esaminati nei paragrafi successivi altri esempi, tra quelli considerati di maggior rilievo.

Le conoscenze relative alla situazione geologica, sia generale che locale, vengono utilizzate sia dai richiedenti nell'ambito del progetto⁸ che da parte della Provincia, per la sua attività di controllo e vigilanza⁹.

20.3.1. Gestione di terre, rifiuti e bonifica di siti inquinati

Le normative sulla gestione dei rifiuti, che timidamente nei primi anni '80 richiama la necessità delle conoscenze del substrato geologico per la valutazione delle interferenze soprattutto delle discariche di rifiuti sul sottosuolo, richiedono ora, principalmente con il testo unico dell'ambiente (D.Lgs. n° 152/2006 e s.m.i.), ma anche con una serie di norme e delibere regionali specifiche, verifiche di compatibilità con le caratteristiche geologiche del suolo, del sottosuolo e delle acque sotterranee e superficiali; prescrivono anche accorgimenti progettuali volti a garantire il non inquinamento e a minimizzare l'impatto su tali matrici ambientali. Si richiama inoltre il Piano Provinciale per l'Organizzazione della Gestione dei Rifiuti Urbani¹⁰; nel Piano in particolare sono riportate le aree idonee e non idonee per la realizzazione degli impianti.

Ad esempio il D.Lgs. n° 36/2003 sulle **discariche** di rifiuti (inerti, non pericolosi e pericolosi), prevede all'art. 8, punto 1d, la descrizione del sito, ivi comprese le caratteristiche idrogeologiche, geologiche e geotecniche, corredata da un rilevamento geologico di dettaglio e da una specifica indagine stratigrafica

⁴ Si veda il capitolo 15 "Georisorse" (pagg. 503+509).

⁵ Si veda il capitolo 12 "Idrogeologia".

⁶ Si vedano i capitoli 12 "Idrogeologia" e 15 "Geoscambio".

⁷ Si veda la scheda a pag. 514 nel capitolo 15 "Georisorse".

⁸ Ad esempio, nell'ambito dell'attività estrattiva è richiesta "una relazione sulle caratteristiche geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche, idrografiche e paesaggistiche del luogo di intervento e sulla interferenza dell'attività estrattiva sulle medesime" (L.R. n° 44/82, art. 15, c. 2, lett. a).

⁹ Si veda il capitolo 15 "Georisorse" e la Tav. 14.

¹⁰ Il Piano è stato approvato con delibere CP prot. n° 30058/I e prot. n° 10922/VII del 2002; successivamente è stato fatto proprio dal Piano regionale di gestione dei rifiuti urbani, approvato con DCRV n° 59 del 22.11.2004. E' stato poi aggiornato nel 2007.

eseguita con prelievo di campioni e relative prove di laboratorio; indicazioni vengono chieste anche sulle caratteristiche di permeabilità, spessore e profondità che deve possedere, naturalmente o artificialmente, il piano dove s'impone la discarica e le sue pareti al fine di garantire la non contaminazione delle falde; è importante inoltre eseguire verifiche strutturali sulla tenuta delle pareti e del fondo della discarica in ordine alle caratteristiche geologiche in rapporto con i carichi imposti; emerge poi chiaramente la necessità di individuare la posizione, lo spessore e le caratteristiche idrogeologiche dell'acquifero o degli acquiferi da preservare in rapporto alla posizione e alle caratteristiche degli impianti.

Quest'ultimo aspetto condiziona la **messa in sicurezza** di vecchie discariche o di siti inquinati mediante diaframmi, la cui profondità e le cui caratteristiche di spessore e di materiali è determinata proprio dalla necessità d'individuare uno strato sufficientemente continuo e spesso e con caratteristiche idrogeologiche e geomeccaniche tali da consentire l'isolamento idraulico dei corpi acquiferi da salvaguardare.

Per i **siti inquinati**, inoltre, il D.Lgs. n° 152/2006 prevede che preventivamente alla bonifica venga eseguito un piano di caratterizzazione e un'analisi di rischio basati, oltre che su analisi chimiche di sedimenti e acque, sulle conoscenze pedologiche, geologiche, idrogeologiche e idrodinamiche sito specifiche. Il tema è particolarmente sentito in provincia di Venezia soprattutto per la presenza del Sito d'Interesse Nazionale di Porto Marghera. Su questo sito tra il 2006 e il 2009 la Provincia ha svolto, con un finanziamento regionale e in collaborazione con un tavolo tecnico composto da altri Enti, un'accurata indagine idrogeologica, già illustrata in un'apposita scheda del capitolo 12 (pag. 453). E' stato possibile, inoltre, contestualizzare tale indagine in un territorio più ampio in quanto si è poi svolto lo studio geologico del territorio provinciale realizzato dalla Provincia in collaborazione con il Dipartimento di Geografia dell'Università degli Studi di Padova e descritto nel capitolo 8 "Geologia". Si rileva inoltre, in merito alle attività di monitoraggio e controllo previste dal D.Lgs. n° 36/2003 relativamente al monitoraggio delle acque di falda, che ARPAV nel 2011 ha redatto una proposta metodologica per determinare i valori di fondo; tale proposta dovrebbe essere fatta propria dalla Regione Veneto in quanto già utilizzata in parte dagli impianti in esercizio.

Altro esempio riguarda l'esclusione della gestione delle **terre da scavo** dalla normativa dei rifiuti ex art. 186 del D.Lgs. n° 152/2006 ai fini del loro riutilizzo; la DGRV n° 2424/2008 "Procedure operative per la gestione delle terre e rocce da scavo ai sensi dell'articolo 186 del decreto legislativo 3.04.2006, n° 152" impone infatti verifiche sulla compatibilità delle caratteristiche chimiche delle terre da riutilizzare e di quelle del sito di destinazione. La normativa dei rifiuti

prevede anche l'esclusione "per il suolo non contaminato e altro materiale allo stato naturale escavato nel corso dell'attività di costruzione" ai sensi dell'art. 185 del D.Lgs. n° 152/2006, regolamentato dalla DGRV n° 794/2009 "Procedure operative per la gestione delle terre e rocce da scavo - Integrazioni alla DGRV n° 2424/2008".

Talvolta risultano evidenti superamenti di limiti tabellari non sempre dovuti a elementi antropici di pressione a livello locale, ma rappresentanti situazioni di fondo naturale. Esempio ne è il caso dei sedimenti alluvionali del Brenta, ma anche dell'Adige, per i quali un accurato studio pedologico condotto da ARPAV, partendo anche dalle caratteristiche pedologiche del territorio illustrate in parte in questo Atlante al capitolo 6 "Suoli", ha evidenziato, relativamente al territorio provinciale, valori di arsenico naturalmente superiori ai limiti tabellari del D.Lgs. n° 152/2006 e ne ha individuato la genesi, legata a particolari condizioni ossido riduttive legate alla tessitura e alla giacitura dei sedimenti. Si segnala a riguardo la DGRV n° 464/2010 "Protocollo operativo per l'esecuzione di indagini mirate alla determinazione delle concentrazioni di metalli e metalloidi nei suoli attribuibili al fondo naturale o ad inquinamento diffuso".

E' evidente, quindi, che la normativa rileva la necessità di approfonditi studi che devono ricostruire dettagliatamente il modello concettuale del sottosuolo a livello locale, con la definizione dell'assetto geomorfologico, geologico - stratigrafico, idrogeologico, geotecnico, idraulico, geochimico e idrochimico. Per una corretta interpretazione delle dinamiche di interferenza tra gli impianti di smaltimento, trattamento o recupero dei rifiuti, o del riutilizzo delle terre da scavo, è però indispensabile programmare le indagini sito specifiche nel contesto geologico più generale, reso disponibile ad esempio con le cartografie e le note illustrative presenti in questo Atlante geologico; risulta necessario, anche, contestualizzare poi i risultati a livello locale in modo da giungere a interpretazioni il più fedeli possibile alla realtà, anche mediante l'utilizzo di modelli, le cui condizioni al contorno devono però essere ben note, soprattutto in un territorio geologicamente così variabile.

20.3.2. Pianificazione

L'importanza della geologia nella pianificazione in vari settori è già emersa nelle trattazioni precedenti¹¹: le indagini su suolo e sottosuolo, la rappresentazione cartografica delle conoscenze e la raccolta delle informazioni in specifici *data base* stanno alla base della pianificazione per la **gestione e la difesa delle acque** (Piano di Tutela delle Acque, Piano Direttore per il Bacino Scolante in Laguna di Venezia, Piano regionale degli acquedotti, Piano Provinciale per l'Or-

¹¹ Si veda anche quanto scritto nelle pagine 14÷17.

ganizzazione della Gestione dei Rifiuti Urbani ...), e **dalle acque** (Piani di gestione delle alluvioni, piani di bacino, PGBTT¹²), per la pianificazione dell'**attività estrattiva** (Piani regionali e provinciali per l'attività di cava, ex L.R. n° 44/82), per la pianificazione della **gestione dei rifiuti** (Piano regionale e provinciale di gestione dei rifiuti ex D.Lgs. n° 152/2006).

Le conoscenze geologiche sono fondamentali anche nella pianificazione d'area e di altri specifici livelli di pianificazione: casi importanti che ricadono tutto o in parte all'interno del territorio provinciale veneziano sono il PALAV¹³, il PALALVO¹⁴, il *Master Plan* di Porto Marghera, i piani dei vari parchi (Sile, Reghena - Lemene ...).

Anche nella pianificazione urbanistica a livello regionale (PTRC), provinciale (PTCP) e comunale (PAT, PATI e PI) le tematiche geologiche e idrauliche sono di fondamentale interesse: la L.R. n° 11/2004 richiede lo sviluppo di un quadro conoscitivo molto dettagliato che dà molta importanza alle matrici acque (superficiali e sotterranee), geomorfologia, suolo, sottosuolo. Le linee guida sulla redazione delle cartografie individuano per quasi tutti i livelli di pianificazione urbanistica la redazione di una carta geomorfologica, una geolitologica, una idrogeologica, tutte con legende codificate, e una relazione illustrativa. Le informazioni derivanti da queste carte entrano nelle tavole dei vincoli (sismico, PAI, idraulici), delle invarianti (geositi) delle fragilità (compatibilità geologica e dissesto idrogeologico) e vanno confrontate con le trasformabilità previste nel territorio.

Nel territorio provinciale di Venezia una delle principali criticità è rappresentata dalla compromessa situazione idraulica del territorio¹⁵. Le normative hanno previsto che venga redatta, in relazione alle trasformabilità, una relazione di compatibilità idraulica che, nel rispetto del concetto di invarianza, verifichi la compatibilità delle trasformazioni previste con l'assetto idraulico del territorio ovvero preveda opportune forme di compensazione.

L'invarianza idraulica è però un concetto diverso da quello di sicurezza idraulica: se il territorio è già idraulicamente compromesso l'invarianza tende a mantenere lo *status quo*, non a risolvere le criticità idrauliche esistenti. Queste trovano soluzione con la realizzazione di interventi previsti dalla pianificazione di settore (PGBTT, Piano Direttore, PAI, Piano di Gestione delle Alluvioni).

Il PTCP di Venezia, all'art. 15 delle Norme d'Attuazione (titolato "Rischio idraulico"), con la direttiva "Piani delle Acque" ha voluto prevedere anche uno strumen-

to programmatico degli interventi a livello comunale, finalizzato:

- a dare soluzione alle criticità sulla rete minore di competenza comunale e privata (non sempre previsti dagli strumenti pianificatori di cui sopra),
- alla programmazione delle manutenzioni su tale rete,
- all'individuazione delle risorse per attuare tali programmi,
- a fornire linee guida per un corretto utilizzo del territorio in ordine al tema dello smaltimento delle acque meteoriche.

Per ciascuno dei piani sopra citati le varie normative richiedono specifici livelli informativi di natura geologica e idraulica, quasi tutti riconducibili o ritrovabili nelle cartografie prodotte e illustrate in questo Atlante: microrilievo, geomorfologia, geologia, idrogeologia, assetto idraulico stanno alla base di qualunque scelta pianificatoria di un territorio.

Purtroppo questo concetto così semplice e intuitivo, pur riconosciuto a livello istituzionale e appositamente normato, non sempre trova reale applicazione. Molto spesso interessi diversi guidano le scelte territoriali su percorsi che non si curano della compatibilità con il substrato naturale, conducendo a situazioni di pericolo o di danno e, nella migliore delle ipotesi, costringono a costi economici e ambientali molto elevati.

Caso eclatante, oramai sotto gli occhi di tutti, è il diffuso dissesto idrogeologico che conduce a frane e allagamenti in tutto il territorio, non solo regionale e provinciale, ma anche nazionale. Le naturali predisposizioni del territorio ad allagamenti e frane sono state incrementate notevolmente dall'aumento indiscriminato delle superfici impermeabilizzate (il concetto di invarianza idraulica si sta diffondendo solo in questi ultimi anni) e le persone e le strutture esposte al rischio sono di gran lunga aumentate. Per questo, a partire dai primi anni '90, si è sviluppato un altro settore di pianificazione, necessario a far fronte non solo agli eventi disastrosi imprevedibili o quasi (terremoti, trombe d'aria ecc.), ma anche alla ormai compromessa e diffusa situazione di dissesto del territorio: la pianificazione della protezione civile.

20.3.3. Pianificazione di Protezione Civile

GIUSEPPE CANALI¹⁶

La pianificazione di Protezione Civile presenta diversi rapporti con le Scienze della Terra *l.s.*

Oltre a rinviare a quanto già scritto nelle pagine 35÷37 del GeoAtlante relativamente agli studi realizzati dalla Provincia di Venezia in questo campo, gli aspetti geologici e di difesa del suolo sono presenti sia nella fase di pianificazione che in quella di gestione delle emergenze.

E' di tutta evidenza che la situazione geologica esi-

¹² Piano Generale di Bonifica e di Tutela del Territorio.

¹³ Piano d'Area della Laguna e dell'Area Veneziana.

¹⁴ Piano d'Area delle Lagune e dell'Area Litorale del Veneto Orientale.

¹⁵ Si vedano anche i capitoli 1 "Microrilievo", 4 "Idrografia e bonifica idraulica" e 18 "Rischio idraulico" con le rispettive Tavole 1 - 5 - 16.

¹⁶ Provincia di Venezia, Assessore alla Protezione Civile.

stente presenta maggiori applicazioni nelle zone collinari e montane; però anche in territori di bassa pianura, quale quello della provincia di Venezia, i dati relativi alla geomorfologia, geologia, idrogeologia e più in generale difesa del suolo (rischio idraulico e da mareggiata) rivestono fondamentale importanza.

I modelli matematici di previsione delle piene considerano tra i parametri fondamentali il microrilievo¹⁷, sia naturale (legato cioè in ultima analisi alla situazione geomorfologica e geologica del territorio) che antropica (rilevati di varia natura, urbanizzazioni, infrastrutture).

Le tipiche forme geomorfologiche "a catino"¹⁸ sono delle trappole naturali per le acque alluvionali in quanto zone sia a maggior ristagno che a deflusso ostacolato, prova ne sia che proprio in tali aree sono rimaste più a lungo le acque esondate dai corsi d'acqua principali in occasione della grande alluvione del 1966¹⁹. La conoscenza della situazione idrogeologica²⁰ è invece necessaria nel caso d'inquinamento delle risorse idropotabili sotterranee per trovare rapidamente risorse alternative sicure e con caratteristiche qualitative adatte sia alla fase emergenziale che a quella progettuale ed esecutiva per risorse idropotabili pubbliche e private, ma anche per vari altri utilizzi. Da ultimo, è di tutta evidenza l'importanza della situazione geologica, superficiale e profonda, nel campo del rischio sismico²¹.

In proposito si rileva che uno dei prossimi obiettivi che la Provincia potrebbe darsi nel campo geologico è quello della microzonazione sismica del proprio territorio, che consentirebbe di determinare, con discreta approssimazione, le aree dove le onde sismiche vedono amplificata la loro forza distruttiva e quelle dove invece tale effetto risulta smorzato. Tali studi sono utili sia a livello pianificatorio che locale, e in questo caso devono essere strettamente correlati alle caratteristiche costruttive degli edifici esistenti o in progetto.

20.3.4. Infrastrutture e opere in sotterraneo

Date le condizioni morfologiche e geologiche del territorio veneziano, l'urbanizzazione è sempre avvenuta sfruttando la superficie, il suolo. L'urbanizzazione è stata guidata fin dai tempi più remoti dalle caratteristiche implicazioni geologiche e geomorfologiche del territorio: le aree urbanizzate nel passato sono state le porzioni di territorio più antiche, le superfici di età pleistocenica poste sopra il livello del mare e maggiormente consolidate²². Le aree palustri nord-orientali (Portogruarese e Sandonatese) e quelle meridio-

nali (Cona, Cavarzere e Chioggia), bonificate a più riprese a partire dal XVI secolo ma con forte impulso nel ventennio fascista, sono invece meno abitate e i centri abitati si sono localizzati lungo i corsi d'acqua, sugli "alti" costituiti dagli argini naturali. Uniche eccezioni sono rappresentate dai centri abitati insulari, con particolare riferimento a Venezia, Murano, Burano, Torcello, Caorle e Chioggia sorti, per ragioni storiche, in condizioni geologicamente "pessime" che ne hanno determinato la peculiarità.

Solo negli ultimi cinquant'anni l'incremento demografico e le esigenze socioeconomiche hanno indotto a un sovra utilizzo della superficie geologica disponibile e l'urbanizzazione ha iniziato a interessare anche le aree a più forte penalizzazione geologica. Così, grazie a vecchie e nuove tecniche costruttive, l'urbanizzazione ha pesantemente coinvolto i litorali (soprattutto Bibione, Jesolo, Lido, Sottomarina), andando così a irrigidire un fronte naturalmente variabile, quale è la linea di costa.

Altri esempi sono state la costruzione delle casse di colmata, che hanno dato vita al polo industriale di Porto Marghera, e l'aeroporto internazionale a Tessera. L'urbanizzazione coinvolge e interessa comunque anche porzioni di sottosuolo mediante l'esecuzione di opere di fondazione, di canalizzazione, di infrastrutture quali reti acquedottistiche, metanodotti, reti fognarie, trincee e sottopassi stradali, garage interrati.

Da una ventina d'anni il sottosuolo è però oggetto d'attenzione: l'eccessivo utilizzo del territorio mediante urbanizzazione ha condotto a un livello di saturazione della superficie utilizzabile; non è più possibile individuare un'infrastruttura di una certa importanza senza interessare qualche centro abitato, scontrandosi quindi con i relativi "comitati contro".

Un esempio per tutti è il caso del Passante autostradale di Mestre: dovendo attraversare diversi centri abitati di notevole importanza, è stato fortemente osteggiato fino a che, nel 2001, con la legge obiettivo, il problema del consenso è stato by-passato e si è potuto procedere con la progettazione dell'opera. La scelta del tracciato è stata comunque problematica e si è dovuto far ricorso per situazioni irrisolvibili a tratti in galleria.

La saturazione del suolo in superficie è la ragione per cui l'attenzione dell'attività antropica si sta spingendo sempre più all'uso del sottosuolo.

Prova ne è il proliferare di numerose proposte e progetti, soprattutto legati a importanti strutture viarie e ferroviarie previste tutte o in parte in galleria: sublagunare, TAV = Treno Alta Velocità, TAC = Treno Alta Capacità, Romea commerciale, ma anche a importanti interventi in laguna di Venezia (Mo.S.E., marginamenti lagunari...) e a mare (piattaforme *offshore*...). Se lo scavo di gallerie in terreni sciolti è una pratica in uso in molte parti del mondo e anche in Italia (linee metropolitane ecc.), è sicuramente una novità per il territorio del veneziano, almeno per opere di un certo rilievo che non si limitino ai pur diffusi sottopassi, ga-

¹⁷ Si veda il capitolo 1 "Microrilievo" e la Tav. 1.

¹⁸ Vedi anche il capitolo 7 "Geomorfologia" e la Tav. 9.

¹⁹ Vedi la Fig. 18.1 nel capitolo 18 "Rischio idraulico".

²⁰ Vedi anche i capitoli 12 "Idrogeologia" e 14 "Vulnerabilità" e le Tavole 11 - 12.

²¹ Vedi anche il capitolo 10 "Sismicità".

²² Si vedano i capitoli 2 "Profilo storico" e 3 "Geoarcheologia".

rage e scantinati o ai pur imponenti scavi, ma a cielo aperto, realizzati per piccole e grandi opere idrauliche. La cosa è una novità soprattutto in relazione alla tipologia del sottosuolo veneziano, composto in prevalenza da granulometrie fini e, talora, da sedimenti organici.

Ciononostante, l'attenzione al sottosuolo veneziano - fino a circa 50 m di profondità - nelle aree a intensa urbanizzazione (principalmente nell'area centrale dove il suolo superficiale è stato sovrasfruttato) è dimostrata dal moltiplicarsi dei progetti presentati presso gli enti competenti.

Nell'area veneziana le opere in superficie intercettano sedimenti sciolti quaternari (olocenici e pleistocenici) della bassa pianura costiera veneta, mentre le opere in sotterraneo, poste indicativamente tra 0 e 50 m di profondità, intercettano principalmente sedimenti pleistocenici costituiti da:

- argille e limi più o meno consistenti;
- livelli di torba o argille molto organiche;
- sabbie medio-fini più o meno limose;
- a tratti fitte alternanze dei vari litotipi.

E' presente un'elevata variabilità stratigrafica e idrostratigrafica, con sedimenti caratterizzati da diversa consistenza e diversi gradi di consolidazione.

Le difficoltà tecniche nell'esecuzione e nella gestione di infrastrutture sotterranee a tali profondità su questa tipologia di sedimenti risulta quindi evidente.

Le spesso scadenti caratteristiche geomeccaniche dei terreni (deformabilità e resistenza molto ridotte), la loro elevata variabilità laterale e verticale, il carico dovuto ai terreni sovrastanti le gallerie, il carico idrostatico, la spinta idrostatica dovuta alla pressione delle falde negli acquiferi artesiani ecc. determinano notevoli problematiche geotecniche. Tali problematiche condizionano le scelte progettuali (modalità di scavo, tecniche di consolidamento, adeguatezza statica della soluzione progettuale proposta, controllo dello stato tensionale indotto nel terreno dallo scavo della galleria stessa e relativamente alle sollecitazioni risultanti sui rivestimenti definitivi ecc.) e determinano comunque un impatto sull'attuale equilibrio statico. La discontinuità degli acquiferi e la variabilità verticale e orizzontale dei parametri idrogeologici sono l'origine di notevoli problematiche idrogeologiche condizionando anche in questo caso le scelte progettuali (modalità di scavo per mantenere l'isolamento idraulico, tecniche di consolidamento ecc.) determinando comunque un impatto sull'attuale equilibrio idrogeologico (interconnessione tra i vari acquiferi, variazione delle condizioni idrodinamiche e idrochimiche, variazione delle condizioni idrochimiche). Non si devono inoltre dimenticare altre importanti problematiche connesse con le opere nel sottosuolo profondo, quali l'intercettazione di sacche di metano, lo stoccaggio del materiale scavato, il drenaggio delle acque, le vibrazioni, la subsidenza e altro ancora.

Nello sfruttamento del sottosuolo mediante opere in sotterraneo si evidenzia una serie di vantaggi, quali

il minor consumo di suolo, la minor interferenza con la rete idraulica superficiale (che nell'area di Venezia non è certo poca cosa), il minor impatto visivo, il minor inquinamento dell'aria ecc. C'è però di contro una serie di svantaggi²³: un maggior consumo di sottosuolo, con inevitabile innesco della serie di problematiche di cui si è detto sopra, una maggior interferenza con la rete idrogeologica, una maggior difficoltà di realizzazione tecnica, una maggior difficoltà di gestione (areazione, smaltimento acque, fumi ecc.) e maggiori rischi sia in fase di realizzazione che di utilizzo (possibili esplosioni ecc.) nonché maggiori difficoltà di manutenzione. E' pure da notare che si tratta di opere che richiedono investimenti, oltre che per la fase di realizzazione e gestione durante l'esercizio, comunque per la gestione-manutenzione a tempo in(finito)determinato qualora l'opera, per un motivo qualsiasi, cessasse la sua funzione.

Al di là delle considerazioni, neanche poi tanto filosofiche, sulla convenienza a investire su opere così impattanti, poiché comunque è evidente la necessità/volontà di procedere in questo senso, è importante investire anche nella ricerca, al fine di avere un quadro di conoscenze sul sottosuolo che possa concretizzarsi in strumenti di lavoro a efficace supporto delle decisioni.

Di solito già il progetto preliminare viene impostato sulla base di dati esistenti. Per la porzione "superficiale" di sottosuolo, come sopra detto, la Provincia dispone di una notevole mole di informazioni organizzate. Ma se servono dati a maggior profondità non si arriva a un grado di conoscenza che sia sufficiente a sviluppare un progetto, ancorché preliminare. Si ricorda che sono assolutamente inefficaci modelli previsionali non supportati da dati reali che consentano la calibrazione e validazione dei modelli idrogeologici. Si ritiene che, se non ci sono dati esistenti, i progetti per grandi opere devono essere corredati da adeguate indagini eseguite appositamente già nella fase preliminare al fine di fornire strumenti di valutazione della fattibilità tecnica ed economica al progettista e agli enti preposti al rilascio dei pareri e autorizzazioni. È da ribadire inoltre l'importanza dell'istituzione di reti di monitoraggio relative a suolo e sottosuolo (principalmente idrogeologiche e altimetriche) distribuite sul territorio da parte degli enti istituzionalmente preposti, finalizzate alla validazione dei modelli previsionali e a monitorare la bontà del progetto realizzato.

Devono essere quindi sempre previste nei progetti delle varie opere specifiche reti di monitoraggio mirato relative a suolo e sottosuolo nelle tre fasi *ante operam*, in fase di esecuzione e *post operam*.

In conclusione, è evidente l'importanza, anzi la necessità, di sviluppare la ricerca al fine di implementare e approfondire le conoscenze sul sottosuolo almeno

²³ Gli aspetti economici, comportanti generalmente costi molto più elevati nel caso di opere in sotterraneo, vanno valutati caso per caso, con un'attenta analisi dei costi-benefici.

fino a una cinquantina di metri di profondità, per dotarsi di strumenti (banche dati e modelli) indispensabili a supportare le decisioni.

In particolare è necessario che, per progetti di rilievo a notevoli profondità, vengano condotte specifiche indagini già nella fase preliminare e siano realizzati modelli previsionali ben calibrati e validati da dati reali.

20.3.5. Estrazione e stoccaggio idrocarburi

L'argomento "estrazione e stoccaggio idrocarburi" dovrebbe essere affrontato in un contesto più generale di "geologia ed energia" pensando alle opportunità come fonti di energia alternativa rappresentate dall'energia geotermica, intesa come fonte di energia derivante dal calore della terra. Tale energia può essere sfruttata come flusso di materia (estrazione di acqua calda dalle falde più profonde) o come scambio di energia in un circuito chiuso dotato di un fluido termovettore circolante, senza scambio di materia (geoscambio).

Si rimanda però a quanto già ampiamente argomentato a questo proposito nel capitolo 13 "Geoscambio, affrontando qui le relazioni tra il sottosuolo e le fonti di energia tradizionali rappresentate dagli idrocarburi. Il territorio provinciale di Venezia e la porzione di mare su cui si affaccia, come altri territori regionali, sono risultati di un certo interesse ai fini dell'estrazione di gas metano: la particolare conformazione geologica degli strati, soprattutto di quelli profondi del sottosuolo, con la presenza di importanti lenti di materiale organico con morfologie caratteristiche ha determinato la formazione con il passare delle ere geologiche di sacche di gas potenzialmente estraibile e utilizzabile. La ricerca di idrocarburi, nella loro forma liquida e gassosa, è stata in passato ed è tuttora strategica ai fini della tradizionale politica energetica nazionale. Ma la particolare conformazione della pianura veneto - friulana, come quella padana, ampiamente sfruttata negli anni passati con l'estrazione di idrocarburi dal sottosuolo, pone seri problemi di stabilità del suolo. E' stata ampiamente illustrata nel presente GeoAtlante la predisposizione a una naturale e accentuata subsidenza del territorio provinciale, dovuta principalmente al consolidamento dei terreni per espulsione d'acqua sotto il carico naturale dei sedimenti, tanto più accentuata e rapida quanto più recenti sono i sedimenti²⁴.

L'estrazione forzata di fluidi accentua e velocizza il fenomeno; prova ne è stata la subsidenza di Venezia durante l'intenso prelievo d'acqua dai pozzi per l'attività industriale di Porto Marghera tra gli anni '50 e '70 del secolo scorso, ma prova ne è tuttora la subsidenza indotta dalla bonifica per pompaggio forzato delle acque dagli strati superficiali nelle zone a scolo meccanico, soprattutto nelle parti nord-orientale e meridionale della provincia.

²⁴ Si veda il capitolo 16 "Subsidenza" e la Tav. 15.

L'estrazione di idrocarburi nel contesto geologico locale dovrebbe necessariamente fare i conti con questa problematica, tant'è che da più parti a livello locale e nazionale sono state intraprese iniziative, anche normative, che, basandosi sul principio di cautela, sono volte a bloccare l'estrazione di idrocarburi in mare ma anche nella terraferma. Ciononostante alcune società si sono mosse e hanno ottenuto permessi di ricerca in tale senso. Se saranno individuate riserve di gas ritenute strategiche, lo studio geologico dovrà essere spinto e dettagliato al fine di governare la scelta sul fatto di procedere o meno a coltivazione, considerate tutte le variabili in gioco.

Un caso particolare che riguarda la geologia e gli idrocarburi è rappresentato da istanze di concessione di stoccaggio di gas ex art. 11 del D.Lgs. n° 164/2000: si tratta in pratica di siti che possano contenere negli strati profondi una trappola naturale entro cui stoccare, in regime di abbondanza, riserve di gas in periodi in cui è poco richiesto, per poi estrarlo in caso di bisogno in periodi di maggior utilizzo. Nel territorio provinciale di Venezia è già capitato un caso di istanza di concessione di stoccaggio di gas, pratica al momento rimasta sospesa.

Tralasciando gli aspetti specifici istruttori della richiesta, si può però affermare che casi analoghi potrebbero ripetersi in quanto, pur non essendo stata finora sperimentata in Italia detta tipologia di stoccaggio (è infatti sempre avvenuta all'interno di giacimenti naturali in fase di esaurimento), analoghi casi sono stati provati con successo all'estero.

20.3.6. Geologia militare

ALDINO BONDESAN²⁵

La "Geologia Militare" è una particolare branca della Geologia Applicata, trattata da numerosi autori, prevalentemente stranieri, e fondata sulle relazioni che intercorrono tra geologia e arte militare. Essa considera sia i condizionamenti geologico-geomorfologici alle operazioni militari sia le conseguenze ambientali degli eventi bellici. Assieme alla Geografia Militare, generalmente riconosciuta nel suo senso più ampio come l'applicazione della teoria delle scienze geografiche alle questioni militari e ai problemi di natura bellica, fa parte delle Geoscienze Militari.

Le relazioni tra le scienze della terra e le attività militari nella loro più vasta accezione sono molteplici. Gli eserciti impiegano la geologia, così come la geografia e la geomorfologia²⁶, come uno strumento per acquisire un maggior controllo del campo di battaglia e dei con-

²⁵ Università degli Studi di Padova, Dipartimento di Geografia.

²⁶ Neologismo di recente diffusione che riguarda le varie discipline per lo studio del territorio e dell'ambiente e sottolinea il ruolo determinante che oggi ha l'Informatica negli sviluppi delle relative attività.

testi territoriali nei quali vengono svolte operazioni o sono installate le infrastrutture logistiche.

La Geologia Militare si occupa inoltre di questioni più strettamente rivolte alla gestione delle risorse naturali e alla realizzazione di opere militari (approvvigionamenti idropotabili, reperimento di inerti, fondazioni, fortificazioni, percorribilità dei terreni e manutenzione delle rotabili ecc.) oppure della ricerca e della gestione delle risorse geostrategiche.

Geografi e geologi esaminano le azioni belliche in termini d'impatto sul paesaggio e sull'ambiente geologico. Inoltre, la Geologia Militare studia, da un punto di vista storico, il ruolo e le influenze della morfologia e del substrato geologico sia sulle scelte operate dai comandanti militari sia sugli esiti delle azioni di guerra. Nel tempo, il concetto si è esteso anche all'analisi forense, fornendo nuove prospettive agli studi di storia militare.

Non risultano finora effettuati veri e propri studi di Geologia Militare nel territorio provinciale di Venezia, anche se sono diversi i lavori a carattere storico-geografico condotti sul celebre e importante campo trincerato di Mestre²⁷. Nel passato recente sono stati portati a termine dal Museo della Bonifica di San Donà di Piave alcune analisi volte alla ricostruzione dei sistemi di trincee lungo la linea del Piave, mentre è in fase di pianificazione un progetto di ricerca sui luoghi della Grande Guerra coordinato dalla Regione del Veneto con la medesima impostazione dello studio realizzato dalla Provincia di Treviso nel proprio territorio²⁸. Sono molti gli elementi d'interesse che meriterebbero un approfondimento: i sistemi difensivi endolagunari attorno a Venezia, con le numerose batterie e polveriere che la circondavano nel passato, il sistema dei forti del Campo Trincerato, la linea del Piave nella Grande Guerra e il ruolo difensivo assunto dalla bonifica e dalla laguna nord, il rapporto tra territorio e operazioni militari durante la dominazione francese e austriaca, e infine l'impiego della cartografia civile e militare, che ha continuato a rappresentare il territorio veneziano attraverso cinque secoli di storia.

20.4. SISTEMI D'INFORMAZIONE GEOGRAFICI PER IL VENETO

LUCIA LOVISON-GOLOB²⁹

I sistemi di informazione geografica (GIS), alternativamente chiamati scienza dei sistemi d'informazione ge-

ografica o scienza di sistemi geospaziali, sono definiti come un insieme di sistemi - *hardware* e *software* - capaci di catturare, archiviare, manipolare, analizzare e visualizzare dati geospaziali.

Il GIS è emerso dalla maturazione tecnologica e scientifica di diversi settori della scienza e tecnologia: geodesia, *remote sensing*, analisi statistica, *data mining* e cartografia. Della geodesia, ha incorporato sia la cattura di dati geospaziali che i concetti geodetici relativi alla trattazione di oggetti in 3-D, la loro rappresentazione in due dimensioni, nonché la definizione di confini e altri oggetti lineari e puntiformi e la loro variazione del tempo. Il *remote sensing* permette l'acquisizione a scala nazionale, regionale e locale da parte di diverse organizzazioni, come la Provincia di Venezia, di immagini sia satellitari che da aereo e da altri sensori. I dati così raccolti hanno sia una componente temporale, come data e tempo di acquisizione, che spaziale, cioè con coordinate geografiche o con indirizzi collegabili a toponimi, come Fondazione Musei Civici di Venezia, Piazza San Marco, 52, Venezia, 30124³⁰ e tematica con parametri o attributi che caratterizzano i dati. La scienza statistica è avanzata moltissimo grazie ai sistemi d'informazione geografica che stanno sviluppando metodi specifici per l'analisi volumetrica e spazio-temporale. Questa analisi viene applicata a diverse aree di studio e per questo viene denominata "*geoanalytics*". Il GIS ha permesso di descrivere quantitativamente la prima legge della geografia formulata da Waldo Tobler "Tutti gli oggetti sono correlati tra loro, ma gli oggetti che sono più vicini sono più correlati tra loro di oggetti lontani". Il GIS ha permesso inoltre di formulare problemi difficili da capire in un primo momento, come il problema dell'unità di area modificabile (MAUP), legato alle scale a cui si effettuano aggregazioni di oggetti, e ha proposto dei possibili approcci risolutivi. Soprattutto, il GIS permette di analizzare i dati geospaziali secondo metodi estremamente innovativi, come il variogramma o il *kriging*. Il *data mining* si riferisce a diversi metodi usati per archiviare, estrarre e analizzare le informazioni geospaziali su *data base* o su *warehouse* digitali ed è oramai diventato una parte integrale dei sistemi d'informazione geografica. *Data mining* consiste essenzialmente in una serie di procedure diverse legate alla gestione dell'enorme volume di dati generati attraverso il monitoraggio pressoché continuo del territorio, come per esempio avviene nel Veneto con la rete di monitoraggio geodetico³¹ che copre anche il territorio veneziano con le stazioni di Chioggia, Venezia e Venezia Arsenale. La visualizzazione permessa dal GIS ha fatto avanzare notevolmente il settore cartografico che si è allontanato sempre più dai sistemi analogici centrati su cartografi di professione ed è diventato più

²⁷ ZANLORENZI C. (a cura di), 2009. *I forti di Mestre. Storia di un campo trincerato*. Cierre Edizioni, 195 pp.; SCROCCARO M. (2011) - *I forti alla guerra. La Piazza di difesa marittima di Venezia e il Campo trincerato di Mestre durante la prima guerra mondiale*. Biblion Edizioni, Milano, 2011.

²⁸ BUSONI S. *et al.*, 2011: BUSONI S., CAUDURO L., BISOLI E. & SUSANNA F. *L'archivio dei luoghi della Grande Guerra della provincia di Treviso (Italia nord-orientale). Uno strumento per la conoscenza del territorio attraverso la storia*. Geologia dell'Ambiente, Sigea, Roma, 4, 7-8.

²⁹ Director and Geospatial Specialist, Afriterra Foundation - Boston, MA, USA.

³⁰ <http://www.visitmuve.it/it/fondazione/presentazione/>.

³¹ <http://147.162.229.63/Web/index.php>.

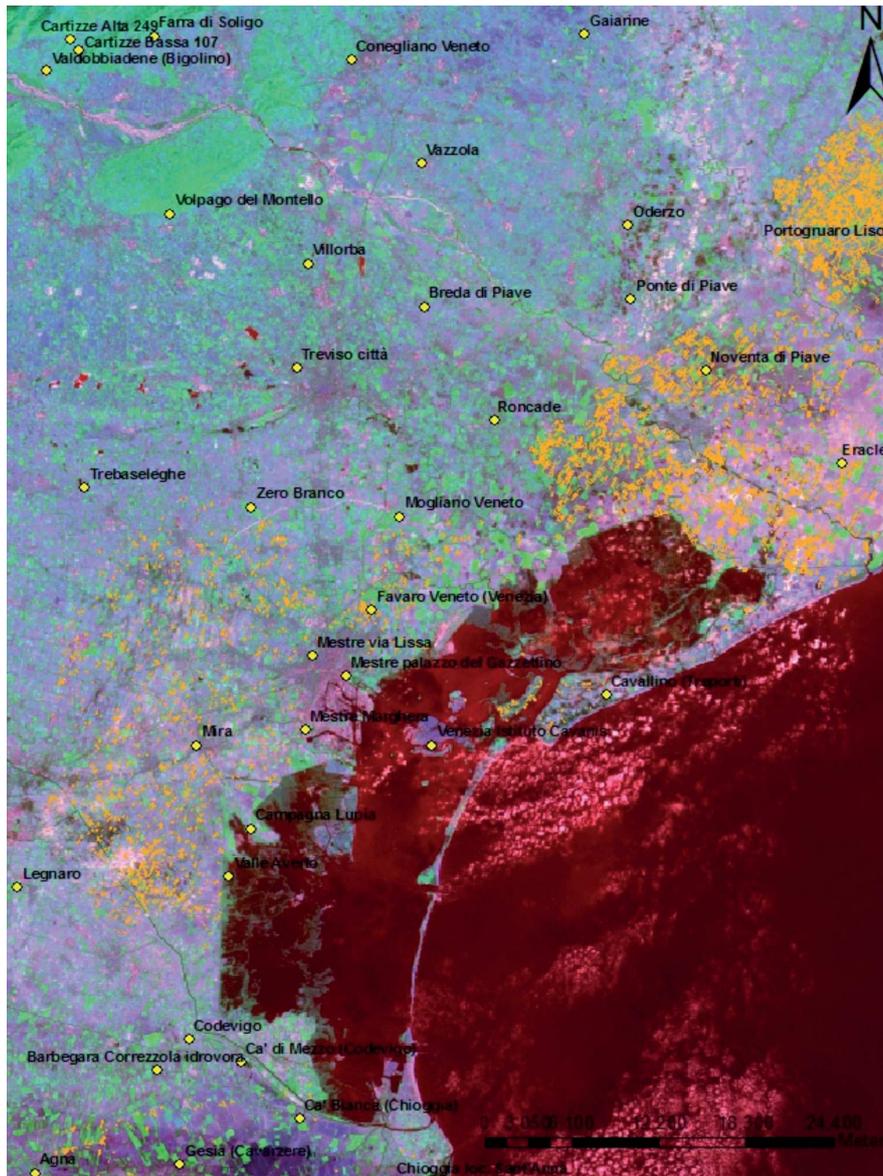


Fig. 20.1 - Mappa dei suoli dedicati ai vigneti (arancio), stazioni agro-meteorologiche (dati puntiformi in giallo) nella provincia di Venezia e dintorni, e dati Landsat 5 *Thematic Mapping*, bande RGB a falsi colori ($0,45 \pm 0,52 \mu\text{m}$, $0,76 \pm 0,90 \mu\text{m}$, $1,55 \pm 1,75 \mu\text{m}$). Provenienza dei dati: Carta dei suoli - Regione Veneto, 2007; ARPAV, 2011; U.S.G.S., 2011. Autore: LUCIA LOVISON-GOLOB, 2011.

onnipresente, con visualizzazioni compiute da chiunque abbia un telefonino o un computer personale o una tavoletta computerizzata tipo iPad, e ha trovato moltissime applicazioni nel settore dei *social networks* (reti sociali). Lo studio semantico dei dati geospaziali testuali, quali toponimi, combinato con la semiologia e altri tecniche di estrazione d'informazione spazio-temporale, diventerà sempre più rilevante nel futuro del territorio veneziano, particolarmente ricco di storia e molto attivo in diversi settori: da quello industriale a quelli artigianale, commerciale e turistico.

I sistemi d'informazione geografica si sono estesi sempre più anche nell'*internet*, attraverso nodi, chiamati "*geoportals*", di distribuzione di dati. In linea con il principio di neutralità di *internet*, la comunità interna-

zionale di dati geospaziali ha adottato il principio fondamentale³² che il pubblico ha diritto ad avere accesso a tutti i dati geospaziali, pur riconoscendo, al momento della pubblicazione o di altro uso, la provenienza dei dati stessi. C'è ancora molta strada da fare nello sviluppare modelli di commercializzazione per il recupero dei costi e che permettano un certo guadagno e controllo alle organizzazioni che collezionano e distribuiscono i dati e servizi geospaziali. Vigè il principio che mettere i dati spaziali a disposizione del pubblico favorisce l'innovazione, la crescita economica della comunità e aumenta l'efficienza delle operazioni attraverso la trasparenza³³. Attualmente, diverse organizzazioni partecipano allo sviluppo GEOSS (*Global Earth System of Systems*)³⁴ che permetterà tutte le funzionalità sopra descritte dei sistemi d'informazione geografici semplicemente con l'accesso a un *web browser*, attraverso *internet* e i servizi geospaziali.

In tutte le fasi citate, è essenziale che i dati e i rispettivi metadati (informazioni relative ai dati geospaziali) seguano degli *standards* tipo ISO TC211³⁵. A livello europeo, INSPIRE (*Infrastructure for Spatial Information in Europe*)³⁶ fornisce il punto di riferimento esplicitato dalle direttive EEC 2003/4/EC, 2003/35/EC, 2007/2/EC e altre, per promuovere tra le diverse organizzazioni nazionali, regionali, provinciali e comunali lo scambio

dei dati geospaziali per un uso più efficiente ed economico della gestione del territorio.

La Regione Veneto ha il suo geoportale regionale³⁷ che, previa registrazione, mette a disposizione mate-

³² <http://www.soros.org/openaccess>.

³³ LOVISON-GOLOB L., 2011 - *Open Data Access and Intellectual Property Rights for Cartographers*. Workshop, Paris, International Cartographic Conference.

³⁴ http://www.isprambiente.gov.it/site/it-it/Archivio/Notizie_e_Novit%C3%A0_normative/Notizie_Internazionali/Documenti/g8_geoss.html.

³⁵ <http://www.isotc211.org/>.

³⁶ <http://www.inspire-geoportal.eu/>.

³⁷ <http://www.regione.veneto.it/Ambiente+e+Territorio/Territorio/Sistema+Informativo+Territoriale+e+Cartografia/Accedi+al+GeoPortale.htm>.

riale cartografico relativo alla carta tecnica regionale, elevazioni (DTM), punti geodetici e immagini aeree e dati territoriali vari e servizi esclusivi per enti locali del Veneto. Oltre alla Regione Veneto, ci sono altre agenzie venete che fanno ampio uso di dati geospaziali, quali ARPAV³⁸. La Provincia di Venezia ha collaborato alla realizzazione della banca dati della copertura del suolo della Regione Veneto³⁹ (Fig. 20.1). Questo prodotto geospaziale è stato sviluppato estraendo dati tematici georeferenziati da fotogrammi del satellite Corine (progetto *GSE Land*). Questa banca, aggiornabile nel tempo, è fondamentale per l'elevata accuratezza geometrica e tematica e per l'efficace gestione del territorio che permette l'individuazione e caratterizzazione di suoli agricoli, corridoi ecologici, bacino scolante nella Laguna di Venezia e altre zone d'uso. E' sperabile che questo impegno venga seguito da altre attività che aiutino a rendere più completa e profonda la conoscenza del territorio veneziano per una gestione più efficiente delle risorse ambientali e umane. In particolare è auspicabile la collaborazione tra le diverse organizzazioni che operano nel territorio veneto sulle seguenti problematiche:

1. identificazione dei dati tematici fondamentali - Infrastruttura Dati Territoriali (IDT) - da mettere a disposizione dell'utente, sia generale che scientifico, in modo da contribuire a una gestione più efficiente e capillare del territorio veneto; in questa prospettiva, le direttive INSPIRE-EEC potrebbero servire come linea guida;
2. identificazione e disseminazione di una serie di funzioni interoperabili che permettano la facile trasformazione, conversione e integrazione di dati catastali e di altro tipo in sistemi informatici del territorio; per esempio, i sistemi piani associati ai sistemi geodetici usati nella Provincia di Venezia sono Gauss-Boaga, UTM-ED50 e UTM-WGS84, ma la conversione tra un sistema di coordinate geografiche e un'altro è particolarmente laboriosa e di fatto un ostacolo per un pubblico non specialistico;
3. identificazione e caratterizzazione fisico-chimica delle risorse idriche nel territorio veneziano sia legate alle acque di superficie che di sottosuolo e marine;
4. identificazione e caratterizzazione dell'uso del territorio dal punto di vista delle risorse: agricole, forestali, di allevamento, artigianali, industriali, ittiche, energetiche e altre aree. Questo settore, in gran parte da sviluppare, rappresenta un'enorme opportunità per l'innovazione socio-economica del Veneto;

5. sviluppo di dati tematici per analizzare e monitorare il rischio geomorfologico e alluvionale del territorio veneto e veneziano, quale i rischi della subsidenza, dell'erosione costiera, d'inondazioni e alluvioni;
6. la collaborazione tra le diverse agenzie veneziane dovrebbe essere favorita al massimo - attraverso progetti dove vengano sviluppate interfacce interoperabili di dati e servizi - dove ciascuna agenzia metta a disposizione dell'utente i dati geospaziali aggiornati dei quali è responsabile sia per rischi di carattere ambientale che antropici;
7. la collaborazione tra professionisti locali e altri a livello accademico, provinciale, regionale (Osservatorio Geofisico di Trieste, Università di Udine) e nazionale (Istituto Nazionale di Geofisica) dovrebbe consolidare le operazioni di monitoraggio sismico locale delle aree venete potenzialmente più a rischio (fascia pedemontana) con enormi benefici sia a livello locale che nazionale.

In conclusione, i sistemi informativi territoriali rappresentano un'enorme opportunità sia scientifica che economica per una gestione più efficiente delle risorse del territorio veneto particolarmente in zone dove l'uso del suolo è estremamente diversificato e intenso e dove esiste un'alta vulnerabilità ambientale, come nella provincia di Venezia.

³⁸ <http://www.arpa.veneto.it>.

³⁹ *Carta della Copertura del Suolo del Veneto*. Edizione 2009, Unità di Progetto per il Sistema Informativo Territoriale e la Cartografia, Regione del Veneto.

SETE D'ACQUA, SETE DI CULTURA

GIUSEPPE GOISIS¹

1. Una fluida monumentalità

Le pagine del libro che ho il piacere di glossare posseggono, mi sembra, un fascino inquietante; prima di tutto, esse sono come il compendio d'interesse esistente, stratificate e spese nell'impegno quotidiano, impegno materiato di studio e laboriosa dedizione.

In secondo luogo, il fascino promanante da queste pagine è legato a una vicenda storica e idrogeologica singolarissima: quella del peculiare corpo a corpo con l'acqua che ha impegnato, per secoli, i cittadini veneziani e veneti.

A tutti è nota la particolare caratterizzazione urbanistica di Venezia, ma giova sottolinearla, per collocarla al centro di una più vasta considerazione sui significati che assume entro il cammino complessivo dell'umanità.

“La formazione urbanistica di Venezia segue un modello singolare, ben diverso da quello comune a tutte le città di terraferma, nate in genere da un nodo centrale - un incrocio di strade, un castello, un santuario, il guado di un fiume, una sorgente, un porto - che diviene mano a mano il baricentro fisico e funzionale”². Se ci si riflette, magari considerando le preziose cartine colorate che popolano il presente volume, c'è davvero di che stupirsi; c'è qualcosa di sorprendente nella genesi improbabile di Venezia, qualcosa che suscita la *meraviglia*, e l'alimenta.

La meraviglia si manifesta per le *condizioni* originarie di Venezia, legate a siti poco predisposti ad accogliere insediamenti stabili, non essendoci terreni già adatti per edificare, né acque dolci e neppure materiali idonei per l'edificazione. Ma la meraviglia s'intensifica nel considerare le *soluzioni* via via intraprese, soluzioni altrettanto difficili e sorprendenti, e dotate dunque di una vigorosa originalità.

Per quanto riguarda le condizioni originarie, esse sembrano dipendere da un particolare scambio: il territorio di Venezia pare coincidere con l'acqua, “acqua dei fiumi e acqua del mare in perenne opposizione, prevalendo di volta in volta l'una sull'altra, almeno fino a quando la Laguna acquista una certa stabilità di forme e di funzionamento, come conseguenza degli interventi realizzati dalla Serenissima”³.

Delle quattro dimensioni che i saperi tradizionali e la simbolica antica individuano: acqua, aria, terra e fuoco, solo alcune rivestono, a Venezia, un ruolo decisivo, secondo una configurazione assai diversa da quella consueta.

Il prevalere dell'acqua scatena *emozioni* particolarmente intense, veementi e perfino violente, e tali emozioni sembrano cristallizzarsi in corrispondenti *sentimenti*: di paura, speranza, amore, odio e spirito

d'avventura. La trama di tali emozioni/sentimenti domina la vita dei Veneziani, in una difficile e assidua tensione fra la precarietà del vivere e la diuturna ricerca di una stabilizzazione, di un ambiente compatibile con le esigenze dell'industriosità umana, dei commerci e della grande fioritura artistica.

C'è un rapporto, intuibile ma difficile da approfondire, fra la ricerca continua, terribile e sublime, di un equilibrio, per quanto instabile, e la creazione di una cultura e di un'arte capaci, letteralmente, di *far sognare*. Non dimentichiamo che un secolo come il Cinquecento ha visto coincidere alcuni importanti successi militari e l'espansione commerciale con le più straordinarie espressioni dell'arte pittorica e con un'editoria capace di risonanza in tutto il mondo incivilito.

2. Sommara psicoanalisi dell'acqua, simboli e miti di una lotta secolare

Affrontare il tema delle emozioni in connessione con quello dell'acqua comporta un riferimento al valore simbolico dell'acqua, dimensione che, da sempre, evoca la nascita, la purificazione, la morte e la rinascita⁴.

Seguendo il metodo di Bachelard, non si apre il varco a considerazioni di tipo irrazionalista; al contrario, praticando un'epistemologia che possiede molti tratti definibili “razionalisti”, siamo in grado di connettere la vasta materia che ci forniscono i miti con il lavoro dell'*immaginazione*, un'immaginazione all'opera, che sembra “lavorare” incessantemente, creando e distruggendo mondi esistenti nella fantasia, ma così influenti da affacciarsi anche nel concretissimo delle umane esistenze.

Siano le acque chiare da cui, secondo il mito, nacque Venere, non lungi da Cipro, siano le acque primaverili, che schiudono l'eterna, e ciclica, fioritura del mondo: in ogni mito, l'acqua ci parla assiduamente della vita e della morte, e del loro meraviglioso intreccio.

Narciso contempla, con sguardo amoroso, la sua stessa immagine, e vi sprofonda, incapace di rapportarsi a un'alterità resistente; ma non meno eloquente

¹ Docente di Filosofia politica - Università Ca' Foscari Venezia.

² F. MANCUSO, *Costruire sull'acqua*, Corte del Fontego Editore, Venezia, 2011, p. 7.

³ F. MANCUSO, *Costruire sull'acqua*, cit., p. 5.

⁴ G. BACHELARD, *Psicanalisi delle acque*, Red Edizioni, Milano, 2006. L'Autore ha disegnato una vasta tetralogia, tracciando una psicoanalisi, e una poetica, dei quattro tradizionali elementi: acqua, aria, terra e fuoco.

è il mito di Caronte, il traghettatore delle anime dei morti, collocato sullo spartiacque fra i due regni, il cui confine presidia e custodisce.

Si tratti di acque profonde, di acque dormienti o di acque morte, di acque che corrono o sembrano condensarsi in una cupa pesantezza, come in certi racconti di Poe: in ognuna di queste fattispecie, sognate ed espresse in poesia, domina l'immagine dell'acqua, figura della maternità e, nella sua sfuggente fluidità, di una più vasta dimensione del femminile.

Per Bachelard, accanto al mito di Caronte, s'individua quello di Ofelia, condotta dalle acque verso il suo enigmatico destino, come illustrato dai pittori di varie scuole, in particolare dai Preraffaeliti⁵.

L'emergere dell'uomo dalle acque, lo sforzo di oltrepassarle, metaforizzano la lotta senza tregua per la libertà e la maturità, e ciò viene evocato nelle più antiche saghe dell'umanità; l'acqua originaria non è solo la fonte della vita, ma anche la sorgente della purificazione, e si configura così un'incipiente "morale dell'acqua"⁶.

Ma l'acqua non è solo questo, non è solo opportunità e condizione per la purificazione; il dolce e indispensabile lavacro, le tenere acque lustrali lasciano luogo, bruscamente, alla violenza dell'acqua scatenata, al rombo della tempesta, che tutto sembra sconvolgere e travolgere; si pensi all'acqua cupa del melvilliano *Moby Dick*, che fa da sfondo alla drammatica lotta fra il capitano Achab e il pesce mostruoso. Solo a tratti si apre il cielo, e nella volta stellata brillano gli astri, come tanti fuochi accesi...⁷

Più si procede a ritroso, più affiora un'incoercibile dimensione simbolica, che connette tra loro i vari piani della realtà, rendendoli aperti e comunicanti; tale dimensione si correla alla maturante enucleazione dei significati, rivolti, talora, verso un trascendere la condizione umana, intravedendosi, sullo sfondo, il richiamo del sacro.

Quando evochiamo l'accesso alla dimensione simbolica, collochiamo al centro la *cultura*, non nel senso, ovviamente, della cultura come pascolo riservato degli intellettuali o dei ricercatori, ma come *ethos* complessivo di un popolo, come quella tradizione che stratifica, un poco alla volta, le identità più profonde, che tendono a germinare inconsapevolmente, ma con una forza di pressione inesorabile.

Se riandiamo alla Preistoria, scopriamo agevolmente che l'*Homo sapiens-sapiens* non è molto diverso dai nostri immediati progenitori, e anche da noi, manifestando ed evidenziando caratteristiche che ci sono profondamente familiari, come le dinamiche emozionali più sconvolgenti, come l'attitudine a lottare contro le potenze naturali, per irreggimentarle e configurarle entro un sistema di sicurezza. Anche quando compie le operazioni più elementari della sua vita, l'*Homo sapiens-sapiens*, nel suo cammino evolutivo, attua dei rinvii, ne sia più o meno consapevole.

Paradossalmente, anche quando mangia, l'uomo non compie un'operazione meccanica, ma i suoi gusti, le

sue scelte (il crudo o il cotto, ad esempio) mostrano come si nutra, in verità, di cultura, producendo cultura, e manifestando, in ogni istante della sua esistenza, l'adesione a una cultura che lo sostiene e, motivandolo, propriamente *lo fa essere*⁸.

I miti più antichi, le storie aurorali dell'umanità rivelano un legame profondo fra l'uomo e l'acqua, in un'ambivalenza drammatica; se l'acqua rinvia alla sorgente, e dunque all'inizio della vita, l'acqua, simultaneamente, riaccende negli uomini la drammatica consapevolezza di essere mortali, inducendo immagini di precarietà e caducità, e rammentando dunque, in un baleno, quei limiti costitutivi che sembrano tracciare un orizzonte insuperabile attorno alla condizione umana.

Ricordo solo un passaggio del mito sumero di Gilgamesh, un eroe metà uomo e metà divino, come Achille, ma alla fine trascinato nella morte dalla componente umana della sua duplice natura.

Ora Gilgamesh, dopo un'incessante ricerca, scopre, secondo il racconto, uno dei più antichi dell'umanità, una magica pianta, che può forse strapparla definitivamente da ogni destino di mortalità. Dopo aver attraversato le insidiose acque e aver raggiunto la riva, Gilgamesh, con un suo compagno, stanno ritornando alla loro dimora.

"Videro una fresca sorgente, e l'eroe comandò di fermarsi lì, per potersi bagnare nelle acque di quella sorgente. Così si tolse di dosso le vesti, posò la pianta in terra e andò a bagnarsi nella fresca sorgente. Ma appena ebbe voltato la schiena, ecco, un serpente uscì dalle acque e, odorato il profumo della pianta, la rapì. E non appena l'ebbe assaggiata, subito mutò la pelle e riacquistò la gioventù".

Così continua il drammatico racconto: "Quando Gilgamesh vide che la preziosa pianta era perduta per sempre, si mise a sedere e pianse. Ma dopo poco si alzò e, rassegnato infine al destino di tutta l'umanità, fece ritorno alla città, al paese da dove era venuto"⁹.

Che terribile compianto nelle lacrime amare di un eroe che, improvvisamente, si riscopre uomo, e dunque mortale; e quanta dignità, e composta fierezza, nel finale ritorno di un eroe colpito, prototipo di tutti gli eroi vulnerabili, di tutti i guaritori feriti e richiamante, secondo alcuni esegeti, il patriarca biblico Noè, anche

⁵ G. BACHELARD, *Psicanalisi delle acque*, cit., pp. 84÷107.

⁶ *Ivi*, pp. 163-169.

⁷ Si consideri la preghiera rivolta al cielo stellato in H. MELVILLE, *Moby Dick* (1850), trad. di C. MINOLI, A. Mondadori, Milano, 1986, cap. CXIX, pp. 604÷605.

⁸ R. WRANGHAM, *L'intelligenza del fuoco. L'invenzione della cultura e l'evoluzione dell'uomo*, Bollati Boringhieri, Torino, 2011, pp. 67÷97 e *passim*.

⁹ T.H. GASTER, *Le più antiche storie del mondo*, A. Mondadori, Milano, 1971, p. 53. Sull'universale mito del Diluvio, in cui l'acqua s'evidenzia come portatrice di morte, v. R. PETTAZZONI, *In principio. I miti delle origini*, a cura di G. FILORAMO, UTET, Torino, 1990, pp. 12÷17. Si potrebbe accostare, in chiave comparativa, il mito di Atlantide, raccontato, com'è noto, da Platone nei dialoghi *Timeo* e *Crizia*.

per l'avventura del Diluvio che, secondo gli antichi testi sumerici, travolgerà anche il povero, ma grande Gilgamesh.

3. Il problema politico del controllo sulle acque, vero fulcro di ogni sovranità

Come sirene ammaliatrici, come usignoli dal dolcissimo canto i *miti* parlano ancora, con voce suadente, a noi uomini della contemporaneità; per questo eterno ritorno dei miti, sembra in gran parte da revisionare la prospettiva weberiana che interpreta la nostra cultura nella chiave di un realizzato "disincanto del mondo" (*Entzauberung*). E così molti studiosi, tra cui P. Berger, "leggono" l'attuale orizzonte di cultura, che ci definisce e circoscrive, come un "reincantamento del mondo".

Ma passando alle questioni che meglio conosco, e uscendo dalla fascinosa prospettiva dei miti, mi sembra si debba collocare in primo piano *la questione politica del controllo dell'acqua*; in varie fasi della storia dell'umanità, chi ha avuto il monopolio o l'oligopolio di tale bene prezioso e influente ha posseduto un potentissimo mezzo d'egemonia politica, potendo regolare, a suo piacimento, le problematiche vitali dell'agricoltura e delle vie di comunicazione: in breve, ciò che vi è di più essenziale nella vita di una società. Karl Marx, in alcuni scritti decisivi fra cui *Per la critica dell'economia politica*, ha illustrato quello che chiama: il "modo di produzione asiatico", un certo modo di produzione entro la scansione successiva che ha contrassegnato, in maniera specifica e determinata, non solo l'economia, ma anche le diverse fasi della cultura e della civiltà, dipendendo quest'ultime, organicamente, dalla sottostante struttura e organizzazione della produzione.

Fra le caratteristiche peculiari del "modo di produzione asiatico", si può ricomprendere lo sforzo, tenacissimo e superpianificato, per imbrigliare la potenza delle acque, facendola servire a un progetto d'incivilimento; una tale intuizione diventa una generale chiave interpretativa per un autore non molto noto, ma di grande coerenza sistematica: Karl August Wittfogel (1896-1988).

Nell'opera fondamentale: *Die orientalische Despotie*, Wittfogel analizza le conseguenze della secolare lotta dell'uomo per dominare la dimensione acquatica, correlando il possesso dell'acqua con l'esercizio di un potere che può, in diversi casi, diventare un potere incontrollato: *absolutus*, cioè sciolto da ogni vincolo.

Il nocciolo delle assai varie competenze di Wittfogel consiste in una conoscenza profonda della storia e della cultura cinese, attraversata da una relazione essenziale, spesso drammatica, con i grandi fiumi (il Fiume Giallo, il Fiume Azzurro...).

Attorno alla ricostruzione di questo rapporto con le acque, al fine di disciplinarle e di farne uno strumento per aiutare l'agricoltura e la vita, Wittfogel ha inserito,

con un paziente lavoro di tessitura, lo studio delle conseguenze che ha avuto tale controllo, riservato a delle minoranze molto ristrette e consapevoli; in poche parole, il controllo dell'acqua e sull'acqua (canali navigabili, dighe...) ha significato, storicamente, il controllo puntiglioso su tutti gli aspetti dell'esistenza, fino a costruire una società con importanti elementi di tirannia e dispotismo¹⁰.

Può esser utile un cenno alla tormentata vicenda biografico-politica di Wittfogel, prima ribelle ma tentato da una veemente adesione all'ortodossia comunista, poi "eretico" del marxismo teorico e del comunismo politico, pur nella memoria delle esperienze passate e nel tentativo d'incorporare svariati elementi e suggestioni delle teorie abbandonate (aderendo al marxismo teorico, aveva avuto intrinsechezza con un hegel-marxista come K. Korsch e come militante comunista aveva goduto della confidenza di un *leader* come K. Radek).

Aggiungo che Wittfogel, abbandonata la militanza comunista che per lui era durata fino ai momenti conclusivi della Seconda guerra mondiale, si fece travolgere dal clima della "Guerra Fredda", sposando un anticomunismo piuttosto esasperato, e lasciandosi invischiare nell'oscuro e drammatico suicidio di Herbert Norman: tutto ciò bastò a causargli una vera e propria *damnatio memoriae*, fino alla silenziosa cancellazione della sua opera, anche degli elementi più nuovi e stimolanti.

Wittfogel era partito, negli anni Venti del Novecento, dal tentativo di tracciare, pazientemente, una storia complessiva della civiltà borghese, con lo scopo di mostrare come essa si orientava, necessariamente, verso uno sbocco di tipo comunista (tale genere di analisi collimava con gli studi proposti dalla Scuola di Francoforte, con cui Wittfogel, in quegli anni, collaborò piuttosto strettamente).

Il passo decisivo viene compiuto all'inizio degli anni Trenta, con il tentativo di ricostruire l'economia e la società della Cina antica; in tali lavori, il saggista espone la sua teoria della "società idraulica"; in breve, la messa a regime e la distribuzione delle risorse idriche costituisce un nodo decisivo da secoli, anzi da millenni; chi possiede i dispositivi e gli accorgimenti per dividere tali essenziali risorse pone le premesse di un'egemonia più o meno assoluta: dunque, la sfida che l'umanità avrebbe di fronte da millenni consisterebbe, soprattutto, nel mettere a regime le acque, e nel *come metterle a regime*, se solo con criteri tecnici, o anche con una superiore consapevolezza equitativa.

Nella ricostruzione dell'antica economia e società della Cina, brillano con un particolare rilievo le tecniche di irrigazione, nelle quali quella cultura sembra sopravanzare di molto i tentativi dell'Occidente, in analoghi campi; ma non si tratta solo della Cina. In

¹⁰ K.A. WITTFOGEL, *Il dispotismo orientale*, SugarCo, Milano, 1980.

opere successive, sviluppando delle investigazioni comparate, Wittfogel raduna, attorno al primo nucleo, ricostruzioni che riguardano gli antichi Egiziani (regolazione del Nilo), gli antichi Babilonesi (analoghi tentativi con l'Eufrate) e l'antica civiltà di Harappa (nel tentativo di canalizzare e controllare l'Indo).

I critici, anche quelli più rispettosi nei confronti di un lavoro di ricostruzione così ampio, non hanno mancato di notare che sembra funzionare, in Wittfogel, uno schema un po' alla buona, così concepito: l'Occidente meno evoluto in quest'ambito, ma "buono", perché fondato su dinamiche personaliste legate ai valori di autodeterminazione e responsabilità, e, dall'altra parte, l'Oriente, più evoluto sul piano delle tecniche, ma deformato, alterato in profondità dall'elefantiasi burocratica, resasi necessaria per l'imponente questione della lotta con l'acqua, allo scopo di controllarla ed usarla al meglio (ciò che riassume tutto: la categorizzazione del "dispotismo idraulico")¹¹.

E tuttavia le critiche più sommarie non tengono conto che quello del "dispotismo idraulico" è un *tipo ideale*, coniato sulla scia della proposta metodologica formulata da Max Weber: un *tipo ideale* non deve coincidere con questo o quell'aspetto di ogni ricognizione analitica, costituendo piuttosto un paradigma completo, alla cui luce, semmai, misurare e investigare i profili che scaturiscono dall'esperienza, e da una conoscenza determinata.

Quel che Wittfogel, in definitiva, vuol farci intendere: le stesse esigenze del lavoro, quando le sue dimensioni si ingigantiscono, reclamano una centralizzazione e una verticalizzazione dei poteri, che convergerebbero sempre di più fino a unificarsi in un *leader* assoluto e in una burocrazia onnipotente, secondo lo schema di una burocrazia totalmente pervasiva e priva di contrattari influenti. In una tale prospettiva, ovviamente, la coercizione non incontra più remore, né barriere... Se mi è permessa una valutazione critica conclusiva, direi che è caduto l'entusiastico convincimento di Wittfogel di aver trovato una *spiegazione onnicomprensiva* della genesi dei processi di concentrazione riferiti ai poteri; anche autori che trattano con un certo riguardo le tesi del "dispotismo idraulico", come lo studioso dell'autorità Barrington Moore o come lo storico della Grecità Vidal Naquet, concludono, nelle loro critiche, che la prospettiva interpretativa in questione contiene non poche esasperazioni e forzature.

Può essere importante, comunque, sottolineare la fecondità, avendo aperto nuove linee di ricerca, soprattutto con il discepolo L. Krader e con gli studi circa il dominio esercitato dalla dinastia degli Incas sul popolo Quechua, in Perù (una specie di protocommunismo, a sfondo autoritario).

Infine, un qualche "ritorno" delle tesi di Wittfogel si è avuto in quella genuina galassia del pensiero liberario che va sotto il nome di "spirito del 1968"; in particolare, al suo pensiero si è ispirato uno dei principali *leader* del Movimento studentesco, R. Dutschke, prima che il colpo di pistola di un fanatico non ne in-

terrompesse bruscamente l'interessante riflessione¹². Inserisco due brevi spunti. Il primo riguarda l'esito dispotico e tirannico di ogni tentativo di costruzione e di controllo sull'acqua, esito inesorabile e fatale, secondo il sinologo e saggista germanico.

Proprio Venezia, caratterizzata egualmente da una lotta secolare con la resistenza e la pressione delle acque, sembra dimostrare, con le sue vicende storico-politiche, che un esito dissimile è possibile; ora dire che Venezia è stata una democrazia, nel senso moderno e contemporaneo, è certo un errore, dato che la costituzione di Venezia è stata costantemente improntata all'idea del *governo dei migliori*, più aristocrazia dunque che oligarchia (governo dei pochi, non necessariamente governo dei migliori).

Ma come evidenziato, anche di recente, da alcuni felici interventi dello storico Beppe Gullino, aristocrazia non significa dispotismo o tirannide, governo che s'impone con la violenza, obliando i bisogni dei ceti popolari; difficile dunque stabilire nessi meccanici, senza comprendere a fondo il rilievo che possiede il costume dei popoli, e il loro orientamento valoriale.

La seconda riflessione riguarda il futuro di queste problematiche; se la sfida per il controllo dell'acqua e per la sua irreggimentazione ha avuto, nel passato, il rilievo che s'è detto, sembra che nel futuro la lotta per il controllo dell' "oro blu" sarà sempre più nevralgica, per gli equilibri ambientali e politici del nostro pianeta. Avanzando il deserto in molte parti del mondo, aumentando vertiginosamente la popolazione e diminuendo le terre poste a cultura, il potere, ad esempio, di deviare un fiume, di canalizzarlo e usarlo in un modo o nell'altro, potrà assumere il senso di decidere della morte e della vita d'interi popoli, in ogni caso modificando, in meglio o in peggio, la *qualità* della loro esistenza.

Passando dalle radici (*archeologia*) agli scopi da intravedere e perseguire (*teleologia*), nel quadro di una presa di coscienza comune e radicale, quel che emerge è che l'acqua, così preziosa da essere indispensabile, è uno di quei beni comuni a cui l'umanità non può rinunciare, dovendo il suo corpo a corpo con la natura non mirare più a gerarchizzare e a dividere, bensì ad unire, in un difficile tentativo solidale di "salvezza" intramondana comune¹³.

¹¹ K.A. WITTFOGEL, *Dispotismo orientale. Storia del sistema di produzione asiatico dalle prime società idrauliche all'incontro con il moderno capitalismo occidentale*, Pigreco, Roma, 2012. Può essere interessante notare come, proprio all'inizio di quest'anno (2012), sia stato riedito un testo importante di Wittfogel, segno forse che le sue tematiche, dopo un periodo di occultamento, "ritornano" con una certa forza e con un significativo rilievo.

¹² Cfr. anche S. HUNTINGTON, *Lo scontro delle civiltà e il nuovo ordine mondiale* (1996), Garzanti, Milano, 2000: questo libro famoso s'ispira, in parte, alle idee di Wittfogel.

¹³ Cfr. U. MATTEI, *Beni comuni. Un manifesto*, Laterza, Roma - Bari, 2011. Si tratta di riscoprire, forse di reinventare, i più essenziali beni comuni.

4. Spunto conclusivo, a partire dalla “modernità riflessiva”

Se c'è una categoria che consente di collocarci nella situazione culturale del nostro tempo, tale categoria è forse, con la maggior pregnanza, quella di “modernità riflessiva”. Una modernità che non avanza più, dunque, come in preda a uno slancio frenetico e cieco, ma che sembra propensa ad apprendere la ponderazione, la prudenza di un'umanità capace di misurare i propri passi, ammaestrata anche dalla paura, in modo da non introdurre, in un pianeta già fragile e ferito, delle dinamiche irreversibili.

Ri-flessività significa anche il guadagno di una nuova misura di consapevolezza, capace di elaborare e far tesoro di antichi e inediti timori; il nostro pianeta “scoppia”, piatto, caldo e affollato com'è; soprattutto, senza un “fuori” che consenta rinnovate frontiere e mete incantatrici.

Un grande contributo alla consapevolezza viene offerto dalla confluenza fra antropologia scientifica e antropologia filosofica; autori come Scheler, Landsberg, Heidegger, Gehlen, Plessner, Lorenz e Rivière hanno esplorato i movimenti originari dell'essere umano nel mondo, tentando di comprendere la condizione umana a partire dall'idea dell'uomo come “animale carente”, come “essere mancante”¹⁴.

Mancante di cosa? Mancante, per Gehlen, Scheler e Plessner, di un suo impianto ben definito nella natura, e dunque di un “adattamento” adeguato alle sfide proposte, ogni giorno, dal cosmo circostante all'uomo stesso (non si dimentichi che, secondo la teoria dell'evoluzione, non i più *buoni*, né i più *forti* sopravvivono, ma i più *adatti*).

Proprio da una condizione così sfavorevole dell'uomo nel mondo, nascerebbe, come risposta necessaria e incoercibile, la *dimensione tecnica*, che esplose, a partire dalla pietra scheggiata, percorrendo vertiginosamente la storia dell'umanità, fino all'utilizzo del silicio e alle più straordinarie conquiste tecnologiche della tarda modernità.

A tutto ciò fa pensare il lungo lavoro dell'uomo, sempre sul crinale fra le acque dei fiumi, le lagune e le terre; per Gehlen, quel che racchiude il presente volume non sarebbe che un momento, per quanto straordinariamente illuminante, dell'eterno sforzo dell'uomo di dominare la natura.

Con l'*Entlastung* (rilassamento, sgravamento, ma anche esonero), l'uomo si libererebbe da una fase di immediatezza istintuale, che lo curva verso terra e ne immobilizza le energie; lo “sgravamento” emanciperebbe l'uomo dal vincolo troppo stretto rispetto agli stimoli immediati del suo ambiente, per lanciarlo in un'avventura progettuale di più grande respiro, dominata dalla tecnica, la *seconda natura dell'uomo*.

Dunque, proprio l'intreccio fra le dimensioni della “carenza” e dell' “eccedenza”, resa disponibile dallo “sgravamento”, aiuta a chiarire quell'autentico paradosso che è l'uomo: il più singolare progetto della

natura, che sfocia in una lenta liberazione dai condizionanti legami con la natura stessa, potendo l'uomo decidere, unico fra gli animali, di plasmare il mondo in una certa direzione e, in tale processo, di plasmare anche la sua stessa soggettività¹⁵.

Un esame critico, anche sommario, dei processi di ominizzazione e dei successivi processi di evoluzione delle culture umane, ci fa cogliere, come dato di fondo, il crescente *distacco fra l'uomo e la natura*, nel senso che la stessa lotta dell'uomo per migliorare e stabilizzare il suo ambiente coincide, sempre di più, con l'emergere della libertà umana (tale lotta, nitidamente, si configura nelle pagine del presente volume).

Come già intuito da Bergson e Scheler, l'identità dell'uomo si manifesta, fin dai primordi, con la caratteristica di fondo della “fabbrilità” (l'uomo come *homo faber*); il rischio imminente, in questo vorticoso cammino, è quello di perder la misura, aprendo la via a una “civiltà predatoria”, piuttosto che tesa a stabilizzare e a securizzare il mondo.

Il paradosso dell'uomo sembra consistere, perennemente, nella doppia direzione possibile del suo cammino: o estrinsecarsi nella direzione della *spazialità*, rischiando nell'ebbrezza del dominio di abbandonarsi al primato della forza, e anche della violenza, o rientrare in se stesso, e coltivare un “sapere di chiaro-scuro”, cercando di colonizzare la *temporalità*.

Pur non celando quei segnali negativi che vengono dall'estrema unilateralità legata all'opzione per l'espansione nella spazialità, si potrebbe tentare di concepire le due vocazioni non come alternative, non come un bivio, ma come due strade da perseguire simultaneamente, secondo la “logica” non del *aut-aut*, ma dell'*et-et*.

Sempre seguendo il filo dell'autocritica, si potrebbe giungere alla considerazione che noi non possiamo possedere la terra, dato che, in una misura notevole, le apparteniamo, essendo ad essa legati da una specie di comunità di destino; certo, queste considerazioni non si riferiscono ad una “filosofia come scienza rigorosa”, ma ad una filosofia come *Weltanschauung*, secondo la distinzione resa celebre da Edmund Husserl. In un tale orizzonte autocritico, vien da dire che non è sufficiente, per noi uomini, “volere di meno”, come ci suggeriscono alcuni studiosi, ma occorrerebbe invece, mi sembra, protendere il nostro volere verso nuovi obiettivi, in una parola, *verso mete ecocompatibili*¹⁶.

¹⁴ Tale idea è sintetizzata con la formula: *mängelwesen* in A. GEHLEN, *L'uomo. La sua natura e il suo posto nel mondo* (1940), Mimesis, Milano, 2010.

¹⁵ Si considerino anche: M. SCHELER, *La posizione dell'uomo nel cosmo* (1928), Armando Editore, Roma, 1998; H. PLESSNER, *I gradi dell'organico e l'uomo* (1928), Bollati Boringhieri, Torino, 2006. Cfr. anche R. TRABUCCHI, *Prometeo e la sopravvivenza dell'uomo*, F. Angeli, Milano, 1998; AA.VV., *Epimeteo e il Golem. Riflessioni su natura e tecnica*, ETS, Pisa, 2004.

¹⁶ Sulla via di uscita del “volere di meno” insiste S. WELLS, *Il seme di Pandora. Le conseguenze non previste della civi-*

Né può soddisfare la critica, piuttosto qualunquista, che vuol raffrenare lo spirito di ricerca con l'argomento secondo il quale "chi aumenta il sapere, aumenta il dolore"; sembra avere ragione, invece, quel pugno di Greci antichi che, coraggiosamente, sostiene aver "la conoscenza potere sul dolore". Non c'è malattia più grave dell'ignoranza, che rende l'uomo tremante come una foglia avvizzita, facendogli smarrire il cammino e rendendo fioco, nella sua mente, il prezioso lume della verità.

E se anche la meta intravista sembra lontana, come ricorda Edgar Morin: "Viandante, non c'è cammino, se non andando avanti"¹⁷.

Qui l'antropologo cede al filosofo, e il filosofo, a corto di argomenti e di parole adeguate, passa il testimone al poeta, che gli corre avanti, come un battistrada: "Itaca tieni sempre nella mente./ La tua sorte ti segna quell'approdo./ Ma non precipitare il tuo viaggio,/ meglio che duri molti anni, ricco di avventure"¹⁸.

Ma perché mai Ulisse, il prototipo di ogni viaggiatore, si dovrebbe augurare che la strada sia lunga, fertile di avventure e di esperienze? Se intuiamo questo punto, potremo intender meglio il senso di questo complesso lavoro, e anche, forse, uno dei significati più profondi del nostro cammino, essendo Itaca un archetipo così vicino a Venezia, librate, ambedue, nell'aria e nell'acqua, e agevolmente trasfigurabili in un'accorata dimensione nostalgica.

Nelle prime battute, questo libro s'è aperto con la figura di Ulisse, precisamente dell'Ulisse dantesco, e a lui, con movimento circolare, possiamo tornare; Ulisse *deve indugiare* nel suo viaggio travagliato perché il conseguimento della meta rischia di spegnere la sua inquietudine creativa. Ulisse piange due volte: una prima volta da Calipso, di fronte al mare, punto dal dolore per il ritorno; ma piange una seconda volta, quando, finalmente, Itaca l'ha raggiunta. Perché? Perché quel sogno è sfociato in una ben più modesta realtà: un'isola fatta di sterpi e di sassi, con un solo animale, il fidato cane, che riconosce Ulisse, e gli mostra un affetto che il tempo non ha scalfito.

E così, morso dal desiderio dell'avventura, l'Ulisse di Dante riparte, proprio dall'isola in cui Omero l'ha lasciato, e così, più o meno, raccontano gli interpreti "moderni" di Ulisse, da Pascoli a D'Annunzio, fino a Kavafis evocato sopra¹⁹.

Contro una visione rozza e schematica, una migliore Italia non nascerà dalla rescissione dei vincoli con il passato, dalla rimozione della parte migliore della tradizione, che tanto impegno e ingegno ha profuso; come suggerisce A. Carandini, un importante archeologo studioso di Roma antica, forse "il nuovo dell'Italia è nel passato", cioè l'autentica innovazione potrebbe risiedere proprio nella capacità di rielaborare, in modo vitale e creativo, ciò che le generazioni precedenti hanno costruito e ricostruito con tanto zelo e pazienza.

Al termine delle pagine di questo libro, il lettore vede ricomporsi nella sua mente una specie di sintesi, come si formasse un'immagine complessiva dall'assieme di tante efficaci pennellate.

La Venezia fra terra e acqua, costruita e ricostruita con tanta perizia, ritorna alla fine a disegnarsi come *unità*, come *sogno* e come *dono*, suscitando cortocircuiti emozionali e domande che non hanno precise risposte, ma il potere di risonanza della poesia: "O Dio, quale grande bontà / abbiamo compiuta in passato / e scordata, / da donare a noi questa meraviglia, / o Dio delle acque? / O Dio della notte, / Quale grande dolore / Ci attende, / da compensarci così / Innanzi tempo?"²⁰.

La grande poesia ci conduce al *metaproblematico*, ricentrando tutto nel nostro cuore, dentro di noi. Nostalgia? Ma occorre ricordare che c'è una nostalgia chiusa, che inchioda alle origini, e una nostalgia aperta, che trova la via per migliorare il mondo e per proiettare l'umano verso nuove avventure di idee.

Auguro dunque, in conclusione, ai collaboratori di questo importante volume di proseguire il loro cammino, che auspico lungo e pieno di frutti, lasciandosi guidare non dalla nostalgia del labirinto, ma dal desiderio di avanzare nei fertili campi della conoscenza. Lo dico non per compiacere qualcuno, ma perché spero in un domani per tutti migliore, per me e per voi autori di questo libro, ma anche per i lettori, miei e vostri amici.

Giuseppe Goisis

lizzazione, Codice Edizioni, Torino, 2011, pp. 216+221. Cfr. G. MARRONE, *Addio alla Natura*, Einaudi, Torino, 2011. Per una svolta possibile nel cammino dell'umanità, consiglio la lettura di uno dei libri più singolari che siano mai stati scritti: R. EISLER, *Uomo lupo* (1949), a cura di M. DONI - E. GIANNETTO, Medusa Edizioni, Milano, 2011. Si tratta di un libro di sole 40 pagine di testo, ma illustrato da ben 200 pagine di note e appunti, che cerca di disocultare una svolta storica dell'umanità, nel passaggio da una dimensione frugivora e pacifica ad una carnivora e violenta, per la quale il divoramento degli animali tende a divenire l'inglobazione dell'Altro in ogni forma.

¹⁷ E. MORIN - C. PASQUALINI, *Io, Edgar Morin. Una storia di vita*, F. Angeli, Milano, 2007, p. 67 e *passim*.

¹⁸ C. KAVAFIS, *Poesie*, a cura di F.M. PONTANI, A. Mondadori, Milano, 2008, pp. 45+46.

¹⁹ Si considerino i due bellissimi libri di P. BOITANI, *L'ombra di Ulisse*, il Mulino, Bologna, 1992 e *Sulle orme di Ulisse*, il Mulino, Bologna, 1998. Solo se le potenze egemoni dimenticano il nome dell'uomo ("Nessuno" dichiara di chiamarsi Ulisse), l'uomo stesso può conquistare un germe di libertà che si svilupperà come un seme del fuoco, tentando di dominare il mondo e assegnando, preliminarmente, un nome nuovo a ogni cosa esistente: S. LO BUE, *La storia della poesia. Il seme del fuoco, Achille e Odisseo*, II, F. Angeli, Milano, 2002.

²⁰ E. POUND, *Litania notturna*, trad. it. di M. DE RACHEWILTZ, in AA.VV., *Gondola signora gondola*, a cura di R. MAMOLI ZORZI, Supernova, Venezia, 2007, pp. 37+39.

BIBLIOGRAFIA

- AA.VV. (1984) - *Misurare la terra. Centuriazioni e coloni nel mondo romano. Il caso Veneto*. Modena, Panini, 230 pp.
- AA.VV. (1987a) - Regione del Veneto, Soprintendenza Archeologica del Veneto - *Le zone archeologiche del Veneto*. Arti grafiche padovane, Padova, 187 pp.
- AA.VV. (1987b). *Piano per il rilevamento delle caratteristiche qualitative e quantitative dei corpi idrici della Regione del Veneto. Relazione*. Ed. Giunta Regionale del Veneto. Segreteria per il Territorio - Dipartimento per l'Ambiente. 65 pp.
- AA.VV. (1988) - *Difesa degli acquiferi dell'alta pianura veneta. Stato di inquinamento e vulnerabilità delle acque sotterranee della pianura del Brenta*. CNR, Regione del Veneto, ULSS n° 5, ULSS n° 19, 5 voll. Venezia.
- AA.VV. (1990) - *Itinerari culturali nel veneziano. Dal Sile al Tagliamento; Mestre e la riviera del Brenta; Chioggia e il delta lagunare*. Corbo e Fiore Editori, Venezia, 3 vol.
- AA.VV. (1992) - *Itinerari culturali nel veneziano. La laguna (Ambiente, fauna e flora; La storia e l'arte)*. Corbo e Fiore Editori, Venezia, Tomi I - II - III.
- AA.VV. (2008÷2010) - *Progetto per la definizione dei tempi di transito delle acque sotterranee e dei bacini di alimentazione delle falde nell'Ambito Territoriale Ottimale "Laguna di Venezia"*. Lavoro inedito realizzato dall'Autorità d'Ambito Territoriale Ottimale "Laguna di Venezia" in convenzione con l'Università di Marsiglia Paul Cézanne, Aix-Marseille III.
- A.G.I. - ASSOCIAZIONE GEOTECNICA ITALIANA (1977) - *Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche*. Roma.
- AGIP (1994) - *Acque dolci sotterranee. Inventario dei dati raccolti dall'Agip durante la ricerca di idrocarburi in Italia dal 1971 al 1990*. Roma, Italy, Agip S.p.A., 515 pp.
- ALBARELLO D. *et al.*, 2000: ALBARELLO D., BOSI V., BRAMERINI F., LUCANTONI A., NASO G., PERUZZA L., REBEZ A., SABETTA F. & SLEJKO D. (2000) - *Pericolosità sismica del territorio nazionale: carte di consenso GNDT e SSN*. In: GALADINI F., MELETTI C. E REBEZ A. (a cura di) - *Le ricerche del GNDT nel campo della pericolosità sismica (1996-1999)*. CNR - Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti, Roma, 397 pp.
- ALBEROTANZA *et al.*, 1977: ALBEROTANZA L., SERANDREI BARBERO R. & FAVERO V. (1977) - *I sedimenti olocenici della Laguna di Venezia (bacino settentrionale)*. Bollettino della Società Geologica Italiana, 96, 243-269.
- ALTISSIMO L. *et al.*, 1990: ALTISSIMO L., MARCOLONGO B., PRETTO L., RIGHETTO G. & SILVESTRI R. (1990) - *Carico inquinante degli acquiferi dell'alto vicentino: valutazione della sua potenzialità e riscontro di alcuni valori reali in falda*. CNR - Gruppo Nazionale Difesa Catastrofi Idrogeologiche, pubbl. 243, Grafiche Erredici, Padova.
- AMATUCCI M. *et al.*, 1999: AMATUCCI M., BUSCAROLI A., DEGLI ESPOSTI V., GHERARDI M., ROSETTI P. & VIANELLO G. (1999) - *Territorio senza confini nel Sistema Informativo Scolastico*. FrancoAngeli editore, Milano.
- AMATUCCI M. & PAJOLA M. (2002) - *Caratteri morfologici, uso del suolo e valutazioni di carattere ambientale nei territori del Delta del Po - Valli Ferraresi*. In: *Modello integrato di monitoraggio su differenti realtà territoriali collegate ad un sistema informativo geografico*. FrancoAngeli editore, Milano.
- AMOROSI A. *et al.*, 2004: AMOROSI A., COLALONGO M.L., FIORINI F., FUSCO F., PASINI G., VAIANI S.C. & SARTI G., (2004) - *Palaeogeographic and palaeoclimatic evolution of the Po Plain from 150-ky core records*. Global and Planetary Change, 40, 55-78.
- AMOROSI A. *et al.*, 2008: AMOROSI A., FONTANA A., ANTONIOLI F., PRIMON S. & BONDESAN A. (2008) - *Post-LGM sedimentation and Holocene shoreline evolution in the NW Adriatic coastal area*. GeoActa, 7, 41-67.
- ANNIBALETTO M. (2010) - *Il paesaggio suburbano di Concordia*. Grafiche Turato Edizioni, Rubano (Padova), 461 pp.
- ANTONELLI R. & DAL PRÀ A. (1977) - *Distribuzione dei materiali limo-argillosi nel sottosuolo della Pianura Veneta*. Quad. Ist. Ric. sulle Acque, P/366.
- ANTONELLI R. & MARI G.M., 1993 - *Carta della vulnerabilità naturale della bassa Valle del Torrente Agno-Guà con note illustrative; scala 1:25.000*. Gruppo Nazionale Difesa Catastrofi Idrogeologiche del CNR, pubbl. 947, Venezia 11 pp., 1 tav.
- ANTONELLI R. *et al.*, 2009: ANTONELLI R., COLLESELLI G. & CULTRERA M. (2009) - *Interferenza sul sistema idrogeologico superficiale del tunnel sub lagunare in progetto tra l'aeroporto Marco Polo e Venezia*. Italian Journal of Engineering Geology and Environment 2. Doi: 10.4408/LJEJE 2009-02.O-02.
- ANTONIOLI F. *et al.*, 2004: ANTONIOLI F., BARD E., POTTER E.K., SILENZI S. & IMPROTA S. (2004) - *215-ka History of sea-level oscillations from marine and continental layers in Argentarola Cave speleothems (Italy)*. Global and Planetary Change, 43, 57-78.
- ANTONIOLI F. *et al.*, 2009: ANTONIOLI F., FERRANTI L., FONTANA A., AMOROSI A., BONDESAN A., BRAITENBERG C., FONTOLAN G., FURLANI S., MASTRONUZZI G., MONACO C., SPADA G. & STOCCHI P. (2009) - *Holocene relative sea-level changes and vertical movements along the Italian and Istrian coastlines*. Quaternary International, 206, 101-133.
- ARENA M. (1959) - *Reperti di alberi subfossili nella laguna di Venezia. Identificazione e descrizione dei campioni di legno*. Memorie di Biogeografia Adriatica, 5, 19-51.
- ARGNANI A & CORREGGIARI A. (a cura di) (2011) - *Carta Geologica dei Mari Italiani alla scala 1:250.000, foglio NK 33-7 Venezia*. ISPRA - Servizio Geologico d'Italia. Ente realizzatore: ISMAR-CNR, 2 fogli, 151 pp.
- ARNAUD-FASSETTA G.A. *et al.*, 2003: ARNAUD-FASSETTA G.A., CARRE M.B., MAROCCO R., MASELLI SCOTTI F., PUGLIESE N., ZACCARIA C. BANDELLI A., BRESSON V., MANZONI G., MONTENEGRO M.E., MORHANGE C., PIPAN M., PRIZZON A. & SICHÉ I. (2003) - *The site of Aquileia (Northeastern Italy): example of fluvial geoarchaeology in a Mediterranean deltaic plain*. Géomorphologie, 4, 227-246.
- ARNOLDUS-HUYZENDVELD A. *et al.*, 1995: ARNOLDUS-HUYZENDVELD A., GISOTTI G., MASSOLI-NOVELLI R. & ZARLENGA F. (1995) - *I beni culturali a carattere geologico: i geotipi. Un approccio culturale al problema*. Geologia Tecnica ed Ambientale, Roma, n° 4, 35-48.
- ARNOLDUS-HUYZENDVELD A. (1996) - *Il suolo come geotopo*. Geologia dell'Ambiente, Sigea, Roma, 2, 9-11.
- ARNOLDUS-HUYZENDVELD A. (2008) - *La Carta del Paesaggio e le sue applicazioni*. In: VALENTI M. (a cura di) *Miranduolo in Alta Val di Merse (Chiusdino - SI)*. All'insegna del Giglio, Firenze, 301-307.

- ARPA EMILIA-ROMAGNA (2005) - *Presenza e diffusione dell'arsenico nel sottosuolo e nelle risorse idriche italiane, nuovi strumenti di valutazione delle dinamiche di mobilitazione*. I Quaderni di ARPA (a cura di Maria Grazia Scialoja).
- ARPAV (2004) - *Carta dei Suoli del bacino scolante in laguna di Venezia*. ARPAV - Osservatorio Regionale Suolo, Castelfranco Veneto, 400 pp.
- ARPAV (2005) - *Carta dei suoli del Veneto alla scala 1:250.000*. ARPAV - Osservatorio Regionale Suolo. Castelfranco Veneto (TV), 383 pp.
- AURELI A. (1995) - *Calcolo dell'infiltrazione efficace nell'ambito della valutazione della vulnerabilità degli acquiferi*. Atti del secondo Conv. Naz. sulla *Protezione e gestione delle acque sotterranee: metodologie, tecnologie e obiettivi*. Nonantola (Modena) 17÷19.05.1995. Quaderni di Geol. Appl., vol. 3 del suppl. 3 al n° 1/1995. Pitagora Ed., Bologna.
- AURIGHI M. *et al.*, 1999: AURIGHI M., ZANGHERI P., FERRONATO A., FRANZ L. & VITTURI A. (1999) - *Monitoraggio di sistemi multifalde. Il caso della provincia di Venezia*. Quaderni di Geologia Applicata. Atti 3° Convegno Nazionale su *Protezione e gestione delle acque sotterranee per il III° millennio*. Parma 13÷15.10.1999, Pitagora Ed., Bologna.
- Aurighi M. *et al.*, 2001: AURIGHI M., VITTADELLO A. & ZANGHERI P. (2001) - *Le risorgive come indicatore ambientale del sistema idrogeologico della pianura del medio-Brenta (extended abstract)*. Atti del Convegno Nazionale *Conoscenza e salvaguardia delle aree di pianura - Il contributo delle scienze della terra*, Ferrara 8÷11.11.1999.
- AVERONE A. (1911) - *Sull'antica idrografia veneta*. Mantova, 266 pp.
- AVIGLIANO R. *et al.*, 2002a: AVIGLIANO R., CALDERONI G., MONEGATO G. & MOZZI P. (2002a) - *The late Pleistocene-Holocene evolution of the Cellina and Meduna alluvial fans*. Mem. Soc. Geol. It., 57, 133-139.
- AVIGLIANO R. *et al.*, 2002b: AVIGLIANO R., MONEGATO G., ZANOLLA S., MICHELUTTI G. & MOZZI P. (2002b) - *Confronto tra informazioni geologiche e pedologiche sul conoide del Cellina (Friuli, Italia)*. Il Quaternario, 15, 1, 99-104.
- BAGGIO P. & PRIMON S. (2000) - *Sotto l'occhio del satellite*. In: BONDESAN A., CANIATO G., VALLERANI F. & ZANETTI M. (a cura di) - *Il Piave*. Cierre, Verona, 83-86.
- BAGGIO P. & SIGALOTTI G.B. (1999) - *Recupero dei sistemi fisico e antropico antichi mediante interpretazione da telerilevamento*. In: CANTINO WATAGHIN G. (a cura di) - *Antichità e Altomedioevo tra Livenza e Tagliamento. Contributo per una lettura della carta archeologica della provincia di Pordenone*, Pordenone, 11-24.
- BALLESTRA G. *et al.*, 1996: BALLESTRA G., BERTOZZI R., BUSCAROLI A., GHERARDI M. & VIANELLO G. (1996) - *Applicazione dei Sistemi Informativi Geografici nella valutazione delle modificazioni ambientali e territoriali*. FrancoAngeli editore, Milano.
- BANDINI F. & VALERIANI S. (2001) - *La carta del patrimonio archeologico architettonico e storico-ambientale della Liguria*. In: *Rischio Archeologico: se lo conosci lo eviti*. In: Atti del Convegno di studi su *Cartografia archeologica e tutela del territorio*. Istituto per i Beni artistici, culturali, naturali della Regione Emilia Romagna, Ferrara 24÷25.03.2000, All'Insegna del Giglio, Bologna, 233-236.
- BALISTA C. (1986) - *Lecture sedimentologiche e geoarcheologiche relative all'insediamento romano di Corte Cavanella (Loreo)*. Quaderni di Archeologia del Veneto, II, 31-37.
- BALISTA C. (1998) - *L'antico corso dell'Adige a Montagnana in età pre-protostorica*. In: BIANCHIN CITTON E., GAMBACURTA G. & RUTA SERAFINI A. (a cura di) - ... "presso l'Adige ridente". *Recenti rinvenimenti archeologici di Este e Montagnana*. Adle, Padova, 237-246.
- BALISTA C. (2005) - *Il territorio cambia idrografia: la Rotta della Cucca*. In: LEONARDI G. & ROSSI S. (a cura di) - *Archeologia e idrografia del Veronese a cent'anni della deviazione del fiume Guà (1904-2004)*. Atti della Giornata di Studi *La necropoli del Fiume Nuovo. Il Museo archeologico di Cologna Veneta e le prime ricerche archeologiche nella pianura veronese*. Cologna Veneta, 15.05.2004, 55-86.
- BALISTA C. & DE GUIO A. (1997) - *Ambienti ed insediamenti dell'Età del Bronzo nelle Valli Grandi Veronesi*. In: BERNABÒ BREA M., CARDARELLI A. & CREMASCHI M. (a cura di) - *Le Terramare, la più antica civiltà padana*. Electa, Milano, 133-160.
- BALISTA C. & RUTA SERAFINI A. (1992) - *Este preromana. Nuovi dati sulle necropoli*. In: TOSI G. (a cura di) - *Este antica. Dalla preistoria all'età antica*. Zielo, Este, 109-124.
- BALISTA C. & RINALDI L. (2002) - *Gli antichi percorsi dell'Adige a Este*. In: RUTA SERAFINI A. (a cura di) - *Este preromana: una città e i suoi santuari*. Canova, Treviso, 17-35.
- BALISTA C. & SAINATI C. (2003) - *Ostrea non pectines ad Altino: le evidenze archeologiche*. In: CRESCI MARRONE G. & TIRELLI M. (a cura di) - *Produzioni, merci e commerci in Altino preromana e romana*. Atti del convegno, Venezia 12÷14 dicembre 2001, Quasar, Roma, 331-346.
- BANDELLI G. (1999) - *Roma e la Venetia orientale dalla guerra gallica (225-222 a.C.) alla guerra sociale (91-87 a.C.)*. In: CRESCI MARRONE G. & TIRELLI M. (a cura di) - *Vigilia di romanizzazione. Altnoi e il veneto orientale tra il II secolo a.C.* Atti del convegno, Venezia, S. Sebastiano, 2÷3.12.1997, Quasar, Roma, 285-301.
- BANDELLI G. (2009) - *Note sulla categoria di romanizzazione con riferimento alla Venetia e all'Histria*. In: *Antichità Alto Adriatiche*, LXVIII, 29-69.
- BARACCO L. *et al.*, 1999: BARACCO L., BASSAN V., BASSO B., ROSETTI P., VITTURI A. & ZANGHERI P. (1999) - *Vulnerabilità idrogeologica e vulnerabilità dei suoli. Applicazione alle province di Padova e Venezia della normativa regionale veneta (D.G.R.V. 615/96) sulle cartografie dell'attitudine dei suoli allo spargimento dei liquami zootecnici*. Presentazione al Convegno Internazionale di Scienze del Suolo. Firenze, novembre 1999.
- BARACCO L. *et al.*, 2000: BARACCO L., BASSAN V., BASSO B., ROSETTI P., VITTURI A. & ZANGHERI P. (2000) - *Aquifer vulnerability and soil vulnerability. An application in the provinces of Padua and Venice on the Veneto regional regulation concerning mapping of soil suitability applied to spreading of livestock effluents*. Bollettino della Società della Scienza del Suolo 49 (1-2), pp. 193-218.
- BARBIERI C. *et al.*, 2007: BARBIERI C., DI GIULIO A., MASSARI F., ASIOLI A., BONATO M. & MANCIN N. (2007) - *Natural subsidence of the Venice area during the last 60 Myr*. Basin Research, 19, 105-123.
- BARKER G. (1986) - *L'archeologia del paesaggio italiano: nuovi orientamenti e recenti esperienze*. Archeologia Medievale, 13, 7-29.
- BARNABA P.F., 1990, *Considerazioni geologiche sul sottosuolo e sulle risorse idrotermali della zona di Latisana - Foce Tagliamento*. In: *Memorie di Scienze Geologiche*, Università di Padova, Padova, vol. XLII, 343-359.
- BAROZZI *et al.*, 1883a: BAROZZI N., BERCHET G. & STEFANI F. (1883a) - *Da Mestre ad Altino*. Archivio Veneto, 26, 231-237.
- BAROZZI *et al.*, 1883b: BAROZZI N., BERCHET G. & STEFANI F. (1883b) - *Altino*. Archivio Veneto, 26, 238-247.
- BAROZZI *et al.*, 1883c: BAROZZI N., BERCHET G. & STEFANI F. (1883c) - *S. Michele del Quarto, Marcon*. Notizie degli Scavi, 234-235.

- BAROZZI *et al.*, 1884: BAROZZI N., BERCHET G., CONTIN A. & STEFANI F. (1884) - *Da Altino al Livenza*. Archivio Veneto, 14, 481-490.
- BASSAN V. (2011) - *Aspetti fisici strutturanti il territorio provinciale*. In: GATTOLIN M., BASSAN V., BONATO L., EULISSE E., ABORDI M., FERIALDI A., PATTARO A. & STEVANIN M. (a cura di) (2011) - *I piani comunali delle acque. Strumenti di sicurezza idraulica e opportunità per la rigenerazione del territorio*. Provincia di Venezia e Civiltà dell'Acqua.
- BASSAN V. & VITTURI A. (1992) - *Metodi e risultati della ricerca di aree favorevolmente indiziate per il reperimento di materiale di cava in un'area di bassa pianura. L'esempio dell'area meridionale della provincia di Venezia*. Atti Eurocave '92, Saint Vincent (AO).
- BASSAN V. & VITTURI A. (1993) - *Lo studio geologico-ambientale del territorio provinciale di Venezia, parte meridionale*. Atti XXIX Convegno Naz. Ass. It. Cartografia, Pavia.
- BASSAN V., SCORTEGAGNA U. (1996) - *Census of geotopi in province of Venice*. Abstract, 2nd International Symposium on the Conservation of our geological heritage, Roma, 20÷22.05.1996.
- BASSAN V. & VITTURI A. (2003a) - *Lo studio geoambientale della provincia di Venezia, parte centrale*. Provincia di Venezia, pp. 112.
- BASSAN V. & VITTURI A. (2003b) - *Lo studio geoambientale della provincia di Venezia, parte centrale*. 4th European Congress on Regional Geoscientific Cartography and Information Systems, Bologna.
- BASSAN V. & VITTURI A., 2006 - *Implicazioni geologiche delle opere sotterranee nel Veneziano*. In: BONDESAN A., BASSAN V. & VITTURI A. (a cura di) (2006) - *Atti del Convegno "Geologia Urbana di Venezia" (Venezia - Mestre, 24.11.2006)*. Geologia dell'Ambiente, suppl. 3/2008.
- BASSAN V. *et al.*, 1992: BASSAN V., VIANELLO G. & VITTURI A. (1992) - *Metodi e risultati preliminari per la realizzazione delle carte dei sistemi litologici e geopedologica della provincia di Venezia, parte meridionale*. Atti XXVIII Convegno Naz. Ass. It. Cartografia, Fabriano (AN).
- BASSAN V. *et al.*, 1994: BASSAN V., FAVERO V., VIANELLO G. & VITTURI A. (1994) - *Studio geoambientale e geopedologico del territorio provinciale di Venezia - parte meridionale*. Provincia di Venezia, Venezia, 261 pp.
- BASSAN V. *et al.*, 1997a: BASSAN V., GOBBO L., MUSACCHIO E., VITTURI A. & ZANGHERI P. (1997a) - *Georisorse e rischi naturali nella provincia di Venezia: obiettivi, metodi e risultati di un'analisi geologico-ambientale*. Atti IX Congresso Nazionale dei Geologi *Dalla ricerca alle applicazioni. Risorse e sviluppo: prospettive per il XXI secolo. Le risposte delle Scienze della Terra*, Roma.
- BASSAN V. *et al.*, 1997b: BASSAN V., CARBOGNIN L., D'AMBROSI F., GOBBO L., RIZZETTO C., SCHIAVON E., SCORTEGAGNA U., TOSI L., VITTURI A & ZANGHERI P. (1997b) - *Problematiche geoambientali del territorio veneziano*. Atti del Convegno *La geologia delle grandi aree urbane*, Bologna.
- BASSAN V. *et al.*, 1999: BASSAN V., CONCHETTO E. & VITTURI A. (1999) - *Gli elementi geologici e idraulici come fattori strutturanti le trasformazioni territoriali*. Rivista "Urbanistica Quaderni", n° 22/1999 (Suppl. al n° 112 di "Urbanistica").
- BASSAN V. *et al.*, 2011: BASSAN V., GEROTTO D. & PIZZATO M. (2011) - *I Piani delle Acque all'interno del PTCP della Provincia di Venezia e dei PAT comunali*. In: GATTOLIN M., BASSAN V., BONATO L., EULISSE E., ABORDI M., FERIALDI A., PATTARO A. & STEVANIN M. (a cura di) - *I piani comunali delle acque. Strumenti di sicurezza idraulica e opportunità per la rigenerazione del territorio*. Provincia di Venezia e Civiltà dell'Acqua.
- BASSANI M. (2010) - *Pergere viam. Da Altino a Padova*. In: ROSADA G., FRASSINE M., GHIOTTO A. R. (a cura di) - ... *viam Anniam influentibus palustribus aquis eververatam Canova, Treviso, 73-84.*
- BASSO P. (1987) - *I miliari della Venetia romana*. Archeologia Veneta, IX, 243 pp.
- BASSO P. (1996) - *Nuovi miliari dalla Via Annia*. Quaderni di Archeologia del Veneto, XII, 152-157.
- BASSO P. *et al.*, 2002: BASSO P., BONETTO J. & DAVANZO M.D. (2002) - *La Via Annia tra Altino e Piave: storia, percorso, struttura*. In: GHEDINI F., BONDESAN A. & BUSANA M.S. (a cura di) - *La tenuta di Ca' Tron. Ambiente e storia nella terra dei dogi*. Cierre Edizioni, Sommacampagna di Verona, 139-152.
- BASSO P. *et al.*, 2004: BASSO P., BONETTO J., BUSANA M.S. & MICHELINI P. - *La via Annia nella tenuta di Ca' Tron*. In: BUSANA M.S. & GHEDINI F. (a cura di) - *La Via Annia e le sue infrastrutture*, Atti delle Giornate di Studio Ca' Tron di Roncade, Treviso 6÷7.11.2003, Antiga Edizioni, Cornuda (Treviso), 41-98.
- BATTISTON A. & GOBBO V. (1992) - *Da Bibione a Baseleghe. Contributi per un'analisi storica del territorio*. La Bassa, Latisana, 91 pp.
- BAVEC M. *et al.*, 2004: BAVEC M., TULACZYK S.M., MAHAN S.A. & STOCK G.M. (2004) - *Late Quaternary glaciation of the Upper Soča River Region (Southern Julian Alps, NW Slovenia)*. Sedimentary Geology, 165, 265-283.
- BEATY R.D. & KERBER J.D. (1993) - *Concepts, Instrumentation and Techniques in Atomic Absorption Spectrophotometry*, Perkin-Elmer Corporation, Norwalk.
- BELLEMO V. (1887) - *Manufatti idraulici dell'epoca romana*. Archivio Veneto, XXXIII, 363-379.
- BENVENUTI G. *et al.*, 1973: BENVENUTI G., NORINELLI A. & ZAMBRANO R. (1973) - *Contributo alla conoscenza del sottosuolo dell'area circumlagunare veneta mediante sondaggi elettrici verticali*. Bollettino di Geofisica Teorica e Applicata XV (57), 23-38.
- BENVENUTI G. & NORINELLI A. (1974) - *Studio geofisico di interfaccia acqua dolce - acqua marina nell'area circumlagunare veneta e nella zona delle sorgenti del Chidro (Taranto)*, Memorie degli Istituti di Geologia e Mineralogia dell'Università di Padova, 1974, vol. XXXI, 1-16.
- BERENDSEN H.J.A. & STOUTHAMER E. (2001) - *Paleogeographic development of the Rhine-Meuse delta, The Netherlands*. 3 enclosures. Asse: Van Gorcum, 270.
- BERETTA G.P. (1992) - *Idrogeologia per il disinquinamento delle acque sotterranee*. 813 pp., 612 figg., Pitagora Ed., Bologna.
- BERETTA G.P. *et al.* (1988): BERETTA G.P., CIVITA M., FRANCANI V., MURATORI A., PAGOTTO A., VERGA G., ZAVATTI A. & ZUPPI G.M., 1988 - *Proposta di normativa per l'istituzione delle fasce di rispetto delle opere di captazione di acque sotterranee*. Gruppo Nazionale Difesa Catastrofi Idrogeologiche del C.N.R., pubbl. 75, 277 pp., GEO-GRAPH ed., Milano.
- BERETTA G.P. *et al.*, 1990a: BERETTA G.P., BONOMO L. & NURIZZO C. (1990a) - *Contaminazione da ione nitrico delle acque di falda. Parte I. Generalità*. Inquinamento (1).
- BERETTA G.P. *et al.*, 1990b: BERETTA G.P., BONOMO L. & NURIZZO C. (1990b) - *Contaminazione da ione nitrico delle acque di falda. Parte II. Il caso della Lombardia Orientale*. Inquinamento (5).
- BERGAMINI M. (1980) - *Centuriatio di Bologna. Materiali dallo scavo di tre centurie*. CNR, Roma.
- BERNABÒ BREA M. *et al.*, 1997: BERNABÒ BREA M., CARDARELLI A. & CREMASCHI M. (a cura di) (1997) - *Le Terramare, la più antica civiltà padana*. Electa, Milano.
- BERNARDI M. (a cura di) (1992) - *Archeologia del paesaggio*. All'Insegna del Giglio, Firenze, 876 pp.

- BERTACCHI M.L. (1987) - *Il ponte romano di Concordia*. In: Aquileia Nostra, LVIII, 189-220.
- BERTIN P. et al., 1988: BERTIN P., BONETTO A., DEI SVALDI A., TARONI G., TRALDI E., VITTURI A. & ZANETTI M. (1988) - *Studio d'Impatto Ambientale della circoscrizione del centro storico di Noale (Venezia)*. Atti del Convegno Internazionale Turismo e ambiente nella Società post-industriale, Milano.
- BIANCHIN CITTON E. (1989) - *Dal Neolitico alla fine dell'età del Bronzo*. In: GASPARINI D. (a cura di) (1989), *Due villaggi della collina trevigiana. Vidor e Colbertaldo*. I, Vidor (Treviso), 255-338.
- BIANCHIN CITTON E. (1994) - *Elementi preliminari di conoscenza della frequentazione del territorio veneziano in età preistorica*. In: SCARFI B.M. (a cura di), *Venetia et Histria, Studi in memoria di Michele Tombolani*. «L'erma» di Bretschneider, Roma, 23-32.
- BIANCHIN CITTON E. (a cura di) (1996a) - *Indagine interdisciplinare nell'insediamento neolitico di Roncade (Treviso). Località Biancade*. Quaderni di Archeologia del Veneto, XII, 96-118.
- BIANCHIN CITTON E. (1996b) - *Breve storia delle ricerche e degli studi*. In: *La protostoria tra Sile e Tagliamento. Antiche genti tra Veneto e Friuli*. Catalogo della mostra, Concordia (14.09÷10.11.1996). Esedra, Padova, 185-187.
- BIANCHIN CITTON E. (1996c) - *Il sito umido di S. Gaetano - Casa Zucca*. In: *La protostoria tra Sile e Tagliamento. Antiche genti tra Veneto e Friuli*. Catalogo della mostra, Concordia (14.09÷10.11.1996). Esedra, Padova, 175-184.
- BIANCHIN CITTON E. (1996d) - *Località S. Giusto. Ritrovamento occasionale*. In: *La protostoria tra Sile e Tagliamento. Antiche genti tra Veneto e Friuli*. Catalogo della mostra, Concordia (14.09÷10.11.1996). Esedra, Padova, 199-200.
- BIANCHIN CITTON E. (1996e) - *Via S. Pietro - Fondo Arreghini*. In: *La protostoria tra Sile e Tagliamento. Antiche genti tra Veneto e Friuli*. Catalogo della mostra, Concordia (14.09÷10.11.1996). Esedra, Padova, 258-263.
- BIANCHIN CITTON E. (1996f) - *Via S. Pietro - Fondo Corbetta*. In: *La protostoria tra Sile e Tagliamento. Antiche genti tra Veneto e Friuli*. Catalogo della mostra, Concordia (14.09÷10.11.1996). Esedra, Padova, 264-270.
- BIANCHIN CITTON E. (1999) - *Il Veneto orientale tra l'età del bronzo medio-recente e la prima età del ferro*. In: *Protostoria e storia del Venetorum Angulus*. Atti del XX convegno di Studi Etruschi e Italici, Oeschli, Firenze, 31-46.
- BIANCHIN CITTON E. (2001) - *Il villaggio della tarda età del Bronzo e l'abitato preromano*. In: CROCE DA VILLA P. & DI FILIPPO BALESTRAZZI E. (a cura di) - *Concordia Sagittaria. Tremila anni di storia*. Esedra, Padova, 97-110.
- BIANCHIN CITTON E. (2003) - *L'Adriatico nord-orientale: nuove scoperte e nuove interpretazioni. La tarda età del bronzo*. In: *L'Archeologia dell'Adriatico dalla Preistoria al Medioevo*. Atti del Convegno Internazionale, Ravenna 2001, Firenze, 120-130.
- BIANCHIN CITTON E. (2006) - *La circolazione del metallo nel Veneto orientale tra la seconda metà del III e il II millennio a.C. Rapporti tra nord e sud delle Alpi*. In: BIANCHIN CITTON E. & TIRELLI M. (a cura di) - ... ut ... rosae ... ponerentur, *Scritti di archeologia in ricordo di Giovanna Luisa Ravagnan*. Quaderni di archeologia del Veneto, serie speciale 2, 35-45.
- BIANCHIN CITTON E. (2011) - *La fine dei tempi preistorici*. In: TIRELLI M. (a cura di), *Altino antica. Dai Veneti a Venezia*. Marsilio, Venezia, 47-49.
- BIANCHIN CITTON E. & BALISTA C. (1991) - *Medaglino S. Fidenzio. Località Giacomelli: stratificazioni residue di un argine dell'età del bronzo connesse con un tratto di struttura spondale romana del paleoalveo dell'Adige (scavi 1985-1986)*. Quaderni di Archeologia del Veneto, VII, 26-40.
- BIANCHIN CITTON E. & BALISTA C. (1994) - *Indagine archeologica e geosedimentologica in località Casa Zucca di S. Gaetano di Caorle (Venezia)*. Quaderni di Archeologia del Veneto, X, 161-178.
- BIANCHIN CITTON E. & MALNATI L. (2001) - *Reperti bronzei protostorici dai fiumi veneti: offerte votive, contesti funerari o ripostigli?* In: *Orizzonti del Sacro, Culti e santuari antichi in Altino e nel Veneto orientale*. Quasar, Roma, 197-224.
- BIANCHIN CITTON E. & PANOZZO N. (1996) - *Via Fornasatta - Area COOP*. In: *La protostoria tra Sile e Tagliamento. Antiche genti tra Veneto e Friuli*. Catalogo della mostra, Concordia (14.09÷10.11.1996). Esedra, Padova, 271-284.
- BIANCO PERONI V. (1970) - *Die Schwerter in Italien. Le spade nell'Italia continentale*. In: *Prähistorische Bronzefunde*, IV, 1, München 1970.
- BIGLIARDI G. (2007) - *Il Sistema Informativo Territoriale Archeologico della città di Parma*. Archeologia e Calcolatori, 18, 75-100.
- BIGLIARDI G. (2009) - *Sistema informativo territoriale archeologico e carta delle potenzialità archeologica del comune di Parma*. Archeologia e Calcolatori, 20, 2009, 331-350.
- BINI G. et al., 1992: BINI G., CASTELLARIN B. & MARCATO C. (1992) - *Le acque della bassa pianura friulana*. La Bassa, Latisana, 194 pp.
- BINI G. et al., 2003: BINI A., GHIRINGHELLI R., GUSSONI S., SACCHI L., STRINI A. (2003) - *I geositi nel piano territoriale di coordinamento della provincia di Milano*. Geologia dell'ambiente, Numero speciale 1/2003: Atti del Convegno *La geologia ambientale: strategie per il nuovo millennio*, Sigea, Roma, 211-212.
- BIXIO A.C. et al., 1998: BIXIO A.C., PUTTI M., TOSI L., CARBOGNIN L., GAMBOLATI G. (1998) - *Finite Element Modeling of Salt water Intrusion in the Venice Aquifer System*. In: *Computational Methods in Surface and Ground Water Transport*. 2, 193-200, BURGANOS V.N. et al. (Eds.), Southampton, UK.
- BIXIO V. (1996) - *“La bonifica idraulica e gli effetti sull'ambiente”*. In: Atti convegno *La prevenzione del rischio idraulico in provincia di Venezia*. Provincia di Venezia.
- BLAKE et al., 1988: BLAKE H., BONDESAN A., FAVERO V., FINZI E. & SALVATORI S. (1988) - *Cittanova - Heraclia 1987: risultati preliminari delle indagini geomorfologiche e paleogeografiche*. Quaderni di Archeologia del Veneto, IV, 112-135.
- BLUM M.D. & TÖRNQVIST T.E. (2000) - *Fluvial responses to climate and sea-level change: a review and look forward*. Sedimentology, 47, suppl. 1, 2-48.
- BOAGA J. (2008) - *Seismic Noise and controlled source surveys: tools for seismic hazard deterministic approach (Field measurements in Venice Plain, Italy)*. Tesi di Dottorato in Scienze della Terra, Università di Padova; Biblioteca Nazionale di Roma e Firenze. <http://paduaresearch.cab.unipd.it>. SBN: VIA0181568.
- BOAGA J. et al., 2008: BOAGA J., ILICETO V. & PANZA G.F. (2008) - *Pericolosità sismica della Regione Veneto mediante approccio deterministico*. Relazione ad invito, Atti Convegno *Sismicità storica dell'Italia di Nord-Est, stato dell'arte delle conoscenze sul terremoto di Verona del 1117 e sulla sismicità dell'Italia*. Accademia di Agricoltura Scienze Lettere e Museo di Storia Naturale di Verona. Verona, 11÷13.09.2008.
- BOAGA J. et al., 2010: BOAGA J., VACCARI F. & PANZA F.G. (2010) - *Shear wave structural models of Venice Plain, Italy, from Time Cross-Correlation of seismic Noise*.

- Engineering Geology n° 116 - 2010, eds Elsevier doi: 10.1016/j.enggeo.2010.09.001.
- BONARDI M. *et al.*, 1997: BONARDI M., CANAL E., CAVAZZONI S., SERANDREI BARBERO R., TOSI L., GALGARO A. & GIADA M. (1997) - *Sedimentological, Archaeological and Historical evidences of paleoclimatic changes during the Holocene in the Lagoon of Venice (Italy)*. World Resource Review, 9 (4), 435-446.
- BONARDI M. *et al.*, 1998: BONARDI M., CANAL E. & CAVAZZONI S. (1998) - *Studio dei processi evolutivi di alcune barene della laguna di Venezia in relazione alle variazioni del livello marino. Indagine georcheologica*. CNR-ISDGM, Venezia.
- BONATO L. *et al.*, 2011: BONATO L., EULISSE E., ABORDI M., FERIALDI A., PATTARO A. & STEVANIN M. (a cura di) (2011) - *I piani comunali delle acque. Strumenti di sicurezza idraulica e opportunità per la rigenerazione del territorio*. Provincia di Venezia e Civiltà dell'Acqua.
- BONDESAN A. & FURLANETTO P. (2000a) - *L'uomo e le acque: cartografia storica e indagine geomorfologica a confronto*. In: BONDESAN A., CANIATO G., VALLERANI F. & ZANETTI M. (a cura di) (2000a) - *Il Piave*. Cierre Edizioni, Sommacampagna di Verona, 87-91.
- BONDESAN A. & FURLANETTO P. (2000b) - *Geomorfologia, cartografia storica e archeologia come strumenti integrati dell'analisi evolutiva delle aree di pianura: il basso Piave nell'Olocene*. In: *Le pianure. Conoscenza e salvaguardia. Il contributo delle scienze della terra*. "Atti del Convegno", Ferrara, 8-11.11.2000, Labanti, Regione Emilia Romagna, 204-205.
- BONDESAN A. & FURLANETTO P. (2003) - *Inquadramento geomorfologico e storico dell'area della Sesta Presa*. In: Consorzio di bonifica Bacchiglione Brenta (a cura di) - *Riproduzione informatizzata interattiva del catastico della Sesta Presa 1675*. dvd.
- BONDESAN A. & MENEGHEL M., (a cura di) (2004) - *Geomorfologia della provincia di Venezia. Note illustrative della carta geomorfologica della provincia di Venezia*. Esedra, Padova, 516 pp.
- BONDESAN A. & MOZZI P., 2002a - *La geomorfologia dell'area del Basso Sile*. In: GHEDINI F., BONDESAN A., BUSANA M.S. - *La tenuta di Ca' Tron. Ambiente e Storia nella terra dei Dogi*. Cierre, Verona, 57-61.
- BONDESAN A. & MOZZI P., 2002b - *Aspetti geomorfologici della tenuta di Ca' Tron*. In: GHEDINI F., BONDESAN A., BUSANA M.S. - *La tenuta di Ca' Tron. Ambiente e Storia nella terra dei Dogi*. Cierre, Verona, 61-68.
- BONDESAN A. & MOZZI P., 2002c - *La paleogeografia della pianura in sinistra Sile*. In: GHEDINI F., BONDESAN A., BUSANA M.S. - *La tenuta di Ca' Tron. Ambiente e Storia nella terra dei Dogi*. Cierre, Verona, 68-71.
- BONDESAN A. & FURLANETTO P. (2004) - *Le grandi opere di diversione fluviale nel basso Piave*. In: BONDESAN A. & MENEGHEL M. (a cura di) 2004 - *Geomorfologia della provincia di Venezia. Note illustrative della carta geomorfologica della provincia di Venezia*. Esedra, Padova, 269-283.
- BONDESAN A. & LEVORATO C. (a cura di) (2008) - *I geositi della provincia di Venezia*. Grafiche Erredici, Sarneola di Rubano, 173 pp.
- BONDESAN A. & FURLANETTO P., in corso stampa - *The Artificial Fluvial Diversions in the Mainland of the Lagoon of Venice during the XVI and XVII Centuries inferred by historical cartography analysis*, in Géomorfologie.
- BONDESAN A. *et al.*, 2001: BONDESAN M., ELMI C. & MAROCCO R. (2001) - *Forme e depositi di origine litoranea e lagunare*. In: CASTIGLIONI G.B. & PELLEGRINI G.B. (a cura di) - *Note illustrative della Carta Geomorfologica della Pianura Padana*. Geogr. Fis. Dinam. Quat., suppl. IV, 105-122.
- BONDESAN A. *et al.* (2002a): BONDESAN A., CALDERONI G. & MOZZI P. (2002a) - *L'assetto geomorfologico della pianura veneta centro-orientale: stato delle conoscenze*. In: ZUNICA M. & VAROTTO M. (a cura di) - *Scritti in ricordo di Giovanna Brunetta*. Dip. Geografia, Padova, 19-38.
- BONDESAN A. *et al.* (2002b): BONDESAN A., MOZZI P., PRIMON S. & ZAMBONI C., 2002b - *Antiche acque e antiche genti: l'indagine geomorfologica tra passato e presente*. In: GHEDINI F., BONDESAN A. & BUSANA M.S. (a cura di) - *La Tenuta di Ca' Tron, ambiente e storia nella terra dei dogi*. Cierre, Sommacampagna, 15-68.
- BONDESAN A. *et al.* (2002c): BONDESAN A., BERTANI B., FONTANA A., FURLANETTO P. & PRIMON S. (2002c) - *Carta della fotointerpretazione e dei siti archeologici della provincia di Venezia tra i fiumi Livenza e Tagliamento*. Cd-Rom, Soprintendenza Archeologica del Veneto, Magistrato alle Acque di Venezia, realizzazione, Consorzio Venezia Nuova - Servizio informativo.
- BONDESAN A. *et al.* (2003a): BONDESAN A., MENEGHEL M., MIOLA A. & VALENTINI G., 2003a - *Paleoenvironmental reconstruction from LGM to historical time in the lower coastal plain of the Piave river. Preliminary pollen analysis on a 20 m core of lagoon and fluvial sediments*. Il Quaternario, 16 (1bis), 183-192.
- BONDESAN A. *et al.* (2003b): BONDESAN A., CALDERONI G., RIZZETTO F., 2003b - *Geomorphologic evolution of the lower Piave river coastal plain during the Holocene*. In: BIANCOTTI A., MOTTA M. (a cura di) - *Risposta dei processi geomorfologici alle variazioni ambientali*. Murst, Atti del Convegno, Bologna 10-11.11.2000, Glauco Brigati, Genova, 125-133.
- BONDESAN A. *et al.*, 2003c: BONDESAN A., LEVORATO C. & PRIMON S. (2003c) - In: ROSADA G. (a cura di) - *Arzergrande e Vallonga. La memoria storica di due comunità*. Canova, Dosson, Treviso, 13-24.
- BONDESAN A. *et al.*, 2004a: BONDESAN A., MENEGHEL M., ROSSELLI R. & VITTURI A. (a cura di) (2004a) - *Carta geomorfologica della provincia di Venezia*. LAC, Firenze, edizione in scala 1: 50 000, in 4 fogli.
- BONDESAN A. *et al.*, 2004b: BONDESAN A., MIOLA A. & MOZZI P. (2004b) - *La sintesi evolutiva della pianura in sinistra Sile*. In: BONDESAN A. & MENEGHEL M. (a cura di) - *Geomorfologia della provincia di Venezia*. Esedra, Padova, 242-246
- BONDESAN A. *et al.*, 2004c: BONDESAN A., FINZI E., FONTANA A., FRANCESE R., MAGRI S., MOZZI P., PRIMON S. & ZAMBONI C. (2004c) - *La Via Annia a Ca' Tron: nuovi contributi della geomorfologia, della geofisica e del telerilevamento*. In: BUSANA M.S., GHEDINI F. (Eds.) - *La via Annia e le sue infrastrutture*. Atti delle Giornate di Studio (Ca' Tron, Roncade, 6-7.11.2003), Grafiche Antiga, Cornuda (Treviso), pp. 109-146.
- BONDESAN A. *et al.*, 2004d: BONDESAN A., MENEGHEL M., ROSSELLI R. & VITTURI A. (2004d) - *Carta geomorfologica della provincia di Venezia. Edizione digitale alla scala 1:20.000*. CD-Rom allegato al testo *Geomorfologia della provincia di Venezia* - Magistrato alle Acque, Servizio Informativo, Padova.
- BONDESAN A. *et al.*, 2004e: BONDESAN A., MENEGHEL M., PRIMON S., FURLANETTO P., VITTURI A., BASSAN V., MOZZI P., FONTANA A., ROSSELLI R., BERTANI B. & MAGRI S. (2004e) - *La carta geomorfologica della provincia di Venezia - The geomorphological map of the province of Venice*. Periodico "La cartografia", Firenze, n. 5/2004.
- BONDESAN A. *et al.*, 2006a: BONDESAN A., BASSAN V. & VITTURI A. (a cura di) (2006a) - *Atti del Convegno "Geologia Urbana di Venezia" (Venezia - Mestre, 24.11.2006)*. Geologia dell'Ambiente, suppl. 3/2008.
- BONDESAN A. *et al.*, 2006b: BONDESAN A., FONTANA A., FURLANETTO P., MAGRI S., MENEGHEL M., MOZZI P. & PRIMON S.

- (2006b) - *Lineamenti geologico-geomorfologici ed evoluzione paleoidrografica del territorio urbano di Venezia, Mestre e Marghera*. In: BONDESAN A., BASSAN V. & VITTURI A. (a cura di) - *Atti del Convegno "Geologia Urbana di Venezia" (Venezia - Mestre, 24.11.2006)*. Geologia dell'Ambiente, suppl. 3/2008.
- BONDESAN A. *et al.*, 2008: BONDESAN A., PRIMON S., BASSAN V. & VITTURI A. (a cura di) - *Le unità geologiche della provincia di Venezia*. Cierre Edizioni, Sommacampagna di Verona, 184 pp.
- BONETTO J. (2002) - *Il percorso e le caratteristiche tecniche*. In: GHEDINI F., BONDESAN A. & BUSANA M.S. (a cura di) - *La tenuta di Ca' Tron. Ambiente e storia nella terra dei Dogi*. Cierre, Verona, 125-138.
- BONETTO J. (2003) - *Il medio e il basso corso del Brenta*. In: BONDESAN A., CANIATO G., GASPERINI D., VALLERANI F. & ZANETTI M. (a cura di) - *Il Brenta*. Cierre, Sommacampagna di Verona, 171-178.
- BONINI BARALDI A., 1993 - *Caratterizzazione agro-climatica del territorio veneto - Aree "5B"*. CSIM, Regione Veneto, Teolo (PD).
- BONOMI S. (1987) - *Il territorio patavino*. In: CAVALIERI MANNASSE G. (a cura di) - *Il Veneto nell'età romana. Note di urbanistica e di archeologia del territorio*. II, 195-215.
- BONOMI S. (1990-1991) - *Le tombe romane dalla località Cuora: un inquadramento*. In: Padusa, XXVI-XXVII, 307-316.
- BONOMI S. (a cura di) (1995) - *Ostis. Il santuario alle foci del Meduacus. Indagini archeologiche a Lova di Campagna Lupia*. Catalogo della Mostra, Monselice, 25 pp.
- BONOMI S. (2001) - *Il santuario di Lova di Campagna Lupia*. In: *Orizzonti del Sacro, Culti e santuari antichi in Altino e nel Veneto orientale*. Quasar, Roma, 245-254.
- BONOMI S. (2003) - *Ceramica attica ad Altino, nuovi dati*. In: CRESCI MARRONE G. & TIRELLI M. (a cura di) - *Produzioni, merci e commerci in Altino preromana e romana*. Atti del convegno, Quasar, Roma, 47-60.
- BONOMI S. (2004) - *Viabilità e territorializzazione in epoca romana nel settore meridionale della Provincia di Venezia*. In: BONDESAN A. & MENEGHEL M. (a cura di) - *Geomorfologia della provincia di Venezia. Note illustrative della carta geomorfologica della provincia di Venezia*. Esedra, Padova, 306-307.
- BONOMI S. & MALACRINO C. (2009) - *Altino e Lova di Campagna Lupia: confronti e riferimenti*. In: CRESCI MARRONE G. & TIRELLI M., (a cura di) - *Altino. Il santuario altinate: strutture del sacro a confronto e i luoghi di culto lungo la via Annia*. Edizioni Quasar, Roma, 229-246.
- BONOMI S. & MALACRINO C. (2011) - *Dal santuario di Altino al santuario di Lova di Campagna Lupia. Una messa a confronto nel panorama del sacro nel Veneto*. In: GORINI G. (a cura di) - *Alle foci del Medacus Mino.*, Esedra, Padova, 71-88.
- BONOMI S. & VERONESE F. (1991) - *Campagna Lupia. Lova: prospezioni geofisiche e primi saggi di scavo*. Quaderni di Archeologia del Veneto, VII, 103-105.
- BORRONI I. (1986) - *Involontaria introduzione nel Lago Trasimeno (Umbria) di un Gobide d'acqua salmastra (Knipowitschia panizzae) a seguito di pratiche ittogeniche*. Mem. Ist. Ital. Idrobiol., 33: 207-304.
- BORTOLAMI G. & FONTES J.CH. (1974) - *Idrogeologia isotopica in un sistema multifalde: la pianura veneta*. Rapporto Tecnico CNR n° 82, Venezia, 1974.
- BORTOLAMI G. *et al.*, 1970: Bortolami G., Fontes J.Ch. & Panichi C. - *Hydrogéologie isotopique de la plaine de Venise. Premiers résultats et perspectives*. Atti Convegno Internazionale Acque Sotterranee, Palermo, 6+8.12.1970, 797+803.
- BORTOLAMI G. *et al.*, 1973: Bortolami G., Fontes J.Ch. & Panichi C. - *Résultats préliminaires sur les teneurs en isotopes de l'environnement et circulation dans les aquifères du sous-sol vénétien*. Rapporto Tecnico CNR n° 35, Venezia, maggio 1973.
- BORTOLAMI G. *et al.*, 1973: Bortolami G., Fontes J.Ch. & Panichi C. - *Isotopes du milieu et circulations dans les aquifères du sous-sol vénétien*. E.P.S.L., 19 (2), 154+167.
- BORTOLAMI S. (1987) - *L'uomo e i corsi d'acqua nel Padova e nel Polesine nel medioevo: conquiste e scacchi di un rapporto millenario*. In: BOSIO L., BORTOLAMI S. & ZUNICA M. - *Corsi d'acqua*. Cleup, Padova, 17-29.
- BORTOLAMI S. (2003) - *Il Brenta medievale nella pianura veneta. Note per una storia politico-territoriale di Sante Bortolami*. In: BONDESAN A., CANIATO G., GASPARINI D., VALLERANI F. & ZANETTI M. (a cura di) - *Il Brenta*. Cierre Edizioni, Verona, 209-238.
- BOSIO L. (1965-66) - *La centuriazione dell'agro di Iulia Concordia*. Atti dell'Istituto Veneto di Scienze Lettere ed Arti, Classe Scienze Morali e Lettere, CXXIV, 195-260.
- BOSIO L. (1967) - *I problemi portuali della frangia lagunare veneta nell'antichità, Venetia*. Studi miscelanei di archeologia delle Venezie, Cedam, Padova, 75-163.
- BOSIO L. (1976) - *Problemi topografici di Padova preromana*. In: *Padova preromana*. Catalogo della mostra, Padova, 27.06+15.11.1976, Antoniana, Padova, 3-9.
- BOSIO L. (1978) - *Il fiume Sile in età romana: problemi e prospettive di ricerca*. Quaderni del Sile e di altri fiumi, Rivista Italiana di Potamologia, 30-33.
- BOSIO L. (1981) - *Padova e il suo territorio in età preromana*. In: BOSIO L., FOGOLARI G., CHIECO BIANCHI A.M., PELLEGRINI G.B., SARTORI F., BASSIGNANO M.S., PROSDOCIMI A. & FORLATI TAMARO B. (a cura di) - *Padova antica da comunità paleoveneta a città romano-cristiana*. Lint, Sarmeola di Rubano (PD), 3-23.
- BOSIO L. (1983) - *La Tabula Peutingeriana una descrizione pittorica del modo antico*. Maggioli, Rimini, 234 pp.
- BOSIO L. (1983-1984) - *Note per una propedeutica allo studio storico della laguna veneta in età romana*. Atti dell'Istituto Veneto di Scienze Lettere ed Arti, CXLII (1983-1984), 95-126.
- BOSIO L. (1987) - *Il territorio: la viabilità e il paesaggio agrario*. In: BUCHI E. (a cura di) - *Il Veneto nell'età romana. Storiografia, organizzazione del territorio, economia e religione*. I, Banca Popolare di Verona, Verona, 59-102.
- BOSIO L. (1990) - *La via Popillia-Annia*. Antichità Altoadriatiche, XXXVI, 43-60.
- BOSIO L. (1991) - *Le strade romane della Venetia e dell'Histria*. Esedra, Padova.
- BOSIO L. (1992) - *L'agro atestino in età preromana e romana*. In: TOSI G. (a cura di) - *Este antica. Dalla preistoria all'età romana*. Zielo, Este (Padova), 173-204.
- BOSIO L. (1994) - *Tito Livio e l'episodio di Cleonimo: il probabile luogo dello scontro fra patavini e greci*. In: SCARFI' B.M. (a cura di) - *Studi di archeologia della X regio in ricordo di Michele Tombolani*. «L'erma» di Bretschneider, Roma, 215-221.
- BRACCESI G. & PRANZINI G., 1999 - *Carta della Vulnerabilità Ponderata degli Acquiferi dell'Isola d'Elba*. Quaderni di Geologia Applicata suppl. 2/99: 359-368. Atti 3° Conv. Naz. Protezione e gestione delle acque sotterranee per il III millennio. Parma 13+15.10.1999, Pitagora Ed., Bologna.
- BRACCESI L. (1979) - *Grecità adriatica. Un capitolo della colonizzazione greca in Occidente*. Patron, Bologna, 450 pp.
- BRACCESI L. (1990) - *L'avventura di Cleonimo (a Venezia prima di Venezia)*. Cleup, Padova.

- BRACCESI L. & VERONESE F. (2006) - *Ceramica attica e commerci greci dal Timavo al Po*. In: GIUDICE F. & PANVINI R. - *Il greco, il barbaro e la ceramica attica: immaginario del diverso, processi di scambio e autorappresentazione degli indigeni*. «L'erma» di Bretschneider, Roma, 99-110.
- BRAMBATI A. (1985) - Atti del Convegno *Per un sistema di aree protette nel Veneto Orientale*. Jesolo, 11.1983, "L'abaco", Rivista semestrale di ricerche, studi, analisi, progetti sul territorio.
- BRAMBATI A. (1987) - *Regime, bilancio sedimentologico ed ipotesi di ripascimento dei lidi di Venezia*. VI Congresso Nazionale dell'Ordine dei Geologi, Venezia, Fondazione Cini, 25-27.09.1987, 153-209.
- BRAMBATI A. (1988) - *Il litorale di Caorle: lagune, valli da pesca e spiagge*. «Antichità Altoadriatiche», XXXIII, Udine.
- BRAMBATI A. & FINOCCHIARO F. (1988) - *Definizione dei regimi erosivi e deposizionali di un litorale mediante l'analisi della pendenza della spiaggia sottomarina*. Atti Ticinesi di Scienze della Terra, 31, 469-491.
- BRAMBATI A. et al., 1988: BRAMBATI A., CIABATTI M., FANZUTTI G.P., MARABINI F. & MAROCCO R. (1988) - *Carta sedimentologica dell'Adriatico settentrionale*. CNR, Progetto Finalizzato Oceanografia e Fondi Marini. Istituto Geografico De Agostini, Novara, Scala 1:250.000.
- BRAMBATI, A. et al., 2003: BRAMBATI, A., CARBOGNIN, L., QUAIÀ, T., TEATINI, P. & TOSI, L. (2003) - *The Lagoon of Venice: geological setting, evolution and land subsidence*. Episodes, 26(3), 264-268.
- BRANCUCCI G. (a cura di) (2004) - *Geositi & dintorni ... Prin Cofin - Miur 2001/2003*. Facoltà di Architettura di Genova - Dipartimento Polis, Laboratorio di Geomorfologia Applicata, Genova.
- BROCCA G. (1983) - *Profilo storico*. In: COMEL A. & VITTURI A. (a cura di) - *Studio geopedologico ed agronomico del territorio provinciale di Venezia, parte nord-orientale*. Venezia, 29-51.
- BROCCA G. & VITTURI A. (1987) - *Complementarietà degli studi storici e delle indagini geologiche per meglio conoscere un territorio. L'esempio del territorio provinciale di Venezia tra Livenza ed antico Sile*. Atti VI Congresso Naz. dell'Ordine dei Geologi *Il geologo e l'ambiente: un ruolo, una professione, un impegno*, Padova, pp. 149-154.
- BROGIOLO G.P. (1993) - *Carta archeologica e studio del territorio*. In: POGGIANI KELLER R. (a cura di) - *Carta archeologica della Lombardia, La provincia di Bergamo*. Panini, Modena, 15-17.
- BROGIOLO G.P. (2000) - *Valutazione*. In: FRANCOVICH R. & MANACORDA D. (EDS.) 2000, *Dizionario di archeologia*, Laterza, Roma-Bari, 356-357.
- BROGIOLO G.P. (2006) - *Archeologia tra ricerca e tutela*. In: DELL'ACQUA R., LA ROCCA G., ZANOTTI G. (a cura di) - *Incroci. Scritti in onore di Mario Mammi*. Padova, 71-84.
- BROGIOLO G.P. (2007) - *Dall'Archeologia dell'Architettura all'Archeologia della complessità*. Pyrenae, 38, 1, 7-38.
- BROGLIO A. (1984) - *Il mesolitico*. In: AA.VV. - *Il Veneto nell'antichità*, In: *Preistoria e protostoria*, Verona, 281-319.
- BROGLIO et al., 1987: BROGLIO A., FAVERO V. & MARSALE S. (1987) - *Ritrovamenti mesolitici attorno alla laguna di Venezia*. Istituto Veneto di Scienze Lettere ed Arti, Commissione di studio dei provvedimenti per la conservazione e difesa della laguna e della città di Venezia. Venezia, Rapporti e Studi, 10, 195-231.
- BROGLIO et al., 1992: BROGLIO A., MONDINI C. & VILLABRUNA A. (1992) - *La preistoria nel Bellunese*. In: AA.VV. *Immagini dal tempo. 40.000 anni di storia nella Provincia di Belluno*, Catalogo della mostra, Cornuda (Treviso 1992), 11-90.
- BRUNELLO L. (1993) - *Antica idrografia della terraferma veneziana*. Centro Studi Storici Mestre, 2 (nuova serie), 61 pp.
- BUCHI E. (1989) - *Tarvisium e Acelum nella Traspadana*. In: BRUNETTA E. (a cura di) - *Storia di Treviso, I, Le origini*, Marsilio, Venezia, 191-310.
- BUCHI E. (1999) - *Roma e la Venetia orientale dalla guerra sociale alla prima età augustea*. In: AA. VV., *Vigilia di romanizzazione. Altino e il Veneto orientale tra il II e il I secolo a.C.* Atti del convegno, Roma 1999, pp. 303-326.
- BULLO P. & DAL PRÀ A. (1994) - *Lo sfruttamento ad uso acquedottistico delle acque sotterranee dell'alta pianura veneta*. Geologica Romana n° 30.
- BUSANA M.S. & GHEDINI F. (a cura di) (2004) - *La via Anna e le sue infrastrutture*. Atti delle Giornate di Studio Ca' Tron di Roncade, Treviso 6-7.11.2003, Antiga Edizioni, Cornuda, 295.
- BUSANA M.S. (1996) - *Oderzo. Forma Urbis*. Roma 1996, 151 pp.
- BUSANA M.S. (2002a) - *Architetture rurali nella Venetia romana*. «L'erma» di Bretschneider, Roma, 427.
- BUSANA M.S. (2002b) - *La documentazione archeologica: la tenuta di Ca' Tron nel quadro dei rinvenimenti tra Sile e Piave*. In: GHEDINI et al., 2002: GHEDINI F., BONDESAN A. & BUSANA M.S. (a cura di) (2002) - *La tenuta di Ca' Tron. Ambiente e storia nella terra dei Dogi*. Cierre, Verona, 154-162.
- BUSANA M.S. (2008) - *Indagini nell'agro orientale di Altino: il popolamento in età romana tra Sile e Piave*. In: QUILICI L. & QUILICI GIGLI S. (a cura di) - *Spazi forme e infrastrutture dell'abitare*. «L'erma» di Bretschneider, Roma, 27-47.
- BUSH D.M. et al., 1999: BUSH D.M., NEAL W.J., YOUNG R.S. & PILKEY O.H. (1999) - *Utilization of geoidicators for rapid assessment of coastal-hazard risk and mitigation*. Ocean & Coastal Management, 42, 647-670.
- CALZOLARI M. (2000) - *Gli itinerari della tarda antichità e il nodo stradale di Aquileia*. In: BLASON SCAREL S. (a cura di) - *Cammina, cammina ... Dalla via dell'ambra alla via della fede*. Aquileia, 18-66.
- CALZOLARI C. et al., 2001: CALZOLARI C., UNGARO F., GUERMANDI M. & LARUCCIA N. (2001) - *Suoli capisaldo della pianura padano-veneta: bilanci idrici e capacità protettiva*. Rapporto 10.1, Progetto SINA - Carta pedologica in aree a rischio ambientale, CNR-IGES.
- CAMBI F. (1986) - *L'archeologia di uno spazio geografico. Il progetto topografico ager Cosanus-Valle dell'Albenga*. Archeologia Medioevale, XIII, 527-544.
- CAMBI F. (2003) - *Archeologia dei paesaggi antichi: fonti e diagnostica*. Carrocci, Roma, 125 pp.
- CAMBI F. & FENTRESS E. (1988) - *Il progetto topografico ager Cosanus-Valle dell'Albenga*. Noyé, 165-179.
- CAMBI F. & TERRENATO N. (1994) - *Introduzione all'archeologia dei paesaggi*. La Nuova Italia Scientifica, Firenze, 307 pp.
- CAMBRUZZI T. & CONCHETTO E. (2006) - *Dalla geologia al Servizio Idrico Integrato. L'Ambito Territoriale Ottimale "Laguna di Venezia"*. In atti del Convegno *Geologia Urbana di Venezia*. Mestre 24.11.2006.
- CAMBRUZZI T. et al. (2010a): CAMBRUZZI T., CONCHETTO E., FABBRI P., ZANGHERI P., MARCOLONGO E. & ROSIGNOLI A. (2010a) - *Risorsa idrica e bilancio idrogeologico nell'Ambito Territoriale Ottimale "Laguna di Venezia"*. ATO Laguna di Venezia. Venezia.
- CAMBRUZZI T. et al. (2010b): CAMBRUZZI T., CONCHETTO E., FABBRI P., ZANGHERI P., MARCOLONGO E. & ROSIGNOLI A. (2010b) - *Definizione del bilancio idrogeologico nella zona di media pianura veneta ricadente nell'Ambito Territoriale Ottimale "Laguna di Venezia"*. Acque sotterranee, n° 121 - 09.2010, pp. 9-18. Piacenza.

- CAMPACI P. *et al.*, 1983: CAMPACI P., COSTANTINI C. & VITTURI A. (1983) - *Carte tematiche complementari e derivate*. In: COMEL A. & VITTURI A. (a cura di) (1983) - *Studio geopedologico ed agronomico del territorio provinciale di Venezia, parte nord – orientale*. Provincia di Venezia, 191-243.
- CAMPEOL G. & PIZZINATO C. (2007) - *Metodologia per la valutazione dell'impatto archeologico*. *Archeologia e Calcolatori*, 18, 273-292.
- CAMPORESE M. *et al.*, 2006: CAMPORESE M., GAMBOLATI G., PUTTI M., TEATINI P. (2006) - *Peatland subsidence in the Venice watershed*. In: MARTINI *et al.*, (eds.) - *Peatlands: Evolution and Records of Environmental and Climate Changes*. I.P. Elsevier, 529-550.
- CANAL E. (1988) - *Ritrovamenti ceramici attici e di epoca romana*. In: *San Giacomo in Paludo. Un'isola da recuperare*. Tipoffset Gasparoni, Venezia, 39-42.
- CANAL E. (1995) - *Le Venezie sommerse: quarant'anni di archeologia lagunare*. In: CANIATO G., TURRI E. & ZANETTI M. (a cura di) - *La laguna di Venezia*. Cierre Edizioni, Sommacampagna di Verona, 193-226.
- CANAL E. (1998) - *Testimonianze archeologiche nella Laguna di Venezia. L'età antica*. Edizioni del Vento, Venezia, 91 pp.
- CANAL E. (2004) - *Per una Venezia prima di Venezia: per una Carta Archeologica della laguna di Venezia*. In: BONDESAN A. & MENEGHEL M. (2004) - *Geomorfologia della provincia di Venezia*. Esedra, Padova, 363-366.
- CANAL E. & CAVAZZONI S. (2001) - *Variazione dei livelli marini nella laguna di Venezia dedotti dai dati archeologici*. In: Quaderni di Archeologia del polesine, II, Linea AGS, Stanghella, Padova, 122-131.
- CANALI G. (2007): CANALI G., CAPRARO L., DONNICI S., RIZZETTO F., SERANDREI BARBERO R. & TOSI L. (2007) - *Vegetational and environmental changes in the eastern Venetian coastal plain (Northern Italy) over the past 80,000 years*. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, 253, 300-316.
- CANIATO G. (1985) - *Fonti cartografiche per lo studio del territorio jesolano*. Antichità Altoadriatiche, Studi Jesolani, XXVII, 49-64.
- CANIATO G. (1995) - *L'organismo delicato: il governo idraulico e ambientale*. In: CANIATO G., TURRI E. & ZANETTI M. (a cura di) - *La laguna di Venezia*. Cierre Edizioni, Sommacampagna di Verona, 227-248.
- CANIATO G. (1997) - *Il controllo delle acque*. In: BENZONI G. & COZZI G. (a cura di) - *Storia di Venezia, VII. La Venezia barocca*. Roma, 479-505.
- CANIATO G. *et al.*, 1995: CANIATO G., TURRI G. & ZANETTI M. (a cura di) - *La Laguna di Venezia*. Cierre Edizioni, Sommacampagna di Verona, Verona.
- CAPOZZA M. (1987) - *La voce degli scrittori antichi*. In: BUCHI E. (a cura di) - *Il Veneto nell'età romana. Storiografia, organizzazione del territorio, economia e religione*. I, Banca Popolare di Verona, Verona, 1-47.
- CAPUIS L. (1994) - *Il territorio a sud di Padova in epoca preromana*. In: SCARFI' B.M. - *Studi di archeologia della X regio in ricordo di Michele Tombolani*. «L'erma» di Bretschneider, Roma, 73-80.
- CAPUIS L. (1996) - *L'abitato preromano*. In: *La protostoria tra Sile e Tagliamento. Antiche genti tra Veneto e Friuli*. Catalogo della mostra, Concordia (14.09÷10.11.1996), Esedra, Padova, 28-33.
- CAPUIS L. (2003) - *Preistoria e protostoria del medio e basso corso del Brenta*. In: BONDESAN A., CANIATO G., GASPERINI D., VALLERANI F. & ZANETTI M. (a cura di) - *Il Brenta*. Cierre Edizioni, Sommacampagna di Verona, 163-171.
- CAPUIS L. & GAMBACURTA G. (2003) - *Altino: importazioni e direttrici commerciali in epoca romana*. In: CRESCI MARRONE G. & TIRELLI M. (a cura di) - *Orizzonti del Sacro, Culti e santuari antichi in Altino e nel Veneto orientale*. Atti del convegno, Venezia, S. Sebastiano, (2÷3.12.1999), Quasar, Roma, 27-45.
- CAPUIS *et al.*, 1988: CAPUIS L., LEONARDI G., PESAVENTO MATTIOLI S. & ROSADA G. (a cura di) (1988) - *Carta Archeologica del Veneto*. Panini, I, Modena, 321 pp.
- CAPUIS *et al.*, 1994: CAPUIS L., LEONARDI G., PESAVENTO MATTIOLI S. & ROSADA G. (a cura di) (1994) - *Carta Archeologica del Veneto*. Panini, IV, Modena, 195 pp.
- CAPUIS L. & GAMBACURTA G. (2001) - *I materiali preromani del santuario di Altino - località "Fornace": osservazioni preliminari*. In: CRESCI MARRONE G. & TIRELLI M. (a cura di) - *Orizzonti del Sacro, Culti e santuari antichi in Altino e nel Veneto orientale*. Atti del convegno, Venezia, S. Sebastiano, (2÷3.12.1999), Quasar, Roma, 61-86.
- CAPUIS *et al.*, 2009: CAPUIS L., GAMBACURTA G., TIRELLI M. (2009) - *Il santuario preromano: dalle strutture al culto*. In: CRESCI MARRONE G. & TIRELLI M. (a cura di) - *Orizzonti del Sacro, Culti e santuari antichi in Altino e nel Veneto orientale*. Atti del convegno, Venezia, S. Sebastiano, (2÷3.12.1999), Quasar, Roma, 39-60.
- CARBOGNIN L. *et al.*, 1981: CARBOGNIN L., GATTO P. & MOZZI G. (1981) - *La riduzione altimetrica del territorio veneziano e le sue cause*. Ist. Veneto di Scienze, Lettere ed Arti, Rapporti e Studi, VIII, 55-83, Venezia.
- CARBOGNIN L. (1985) - *Land subsidence: a worldwide environmental hazard*. *Nature and Resources*, XXI: 1, 1-12.
- CARBOGNIN L. & VOLPI G. (1980) - *Ricostruzione automatica di grandezze ambientali nel comprensorio veneziano*. *Geologia Tecnica*, XXVII:(4), 5-16.
- CARBOGNIN L. & TOSI L. (2002) - *Interaction between Climate Changes, Eustasy and Land Subsidence in the North Adriatic Region, Italy*. *Marine Ecology* 23(1): 38-50.
- CARBOGNIN L. & TOSI L. (2003) - *Il Progetto ISES per l'analisi dei processi di intrusione salina e subsidenza nei territori meridionali delle Province di Padova e Venezia*. In: *Progetto ISES* (ed.), Grafiche Erredici, Padova, 95 pp., 12. Tav. F.T.
- CARBOGNIN L. & TOSI L. (1995) - *Situazione altimetrica attuale del comprensorio veneziano e i suoi riflessi sull'ambiente lagunare*. *Geologia Applicata e Idrogeologia*, 30: 303-313.
- CARBOGNIN L. *et al.*, 1994: CARBOGNIN L., MARABINI F., TARONI G., TEATINI P. & TOSI L. (1994) - *Altimetria recente del comprensorio lagunare veneziano. Un'analisi critica*. CNR-ISDGM, Rapporto Tecnico CNR 193, Venezia.
- CARBOGNIN L. *et al.*, 1995: CARBOGNIN L., TOSI L. & TEATINI P. (1995) - *Analysis of actual land subsidence in Venice, Italy, and its hinterland*. In: BARENDIS F.B.J. *et al.* (eds.) - *Land Subsidence*. A.A. Balkema Publ., Rotterdam, 129-137.
- CARBOGNIN L. *et al.*, 2000: CARBOGNIN L., GAMBOLATI G., MARABINI G., TARONI G., TEATINI P. & TOSI L. (2000) - *Analisi del processo di subsidenza nell'area veneziana e sua simulazione con un modello tridimensionale non lineare*. In: Istituto Veneto di Scienze Lettere ed Arti (ed.) - *La Ricerca Scientifica per Venezia. Il Progetto Sistema Lagunare Veneziano*. Vol. II (II): 1017-1048.
- CARBOGNIN L. *et al.*, 2004: CARBOGNIN L., TEATINI P. & TOSI L. (2004) - *Relative land subsidence in the lagoon of Venice, Italy, at the beginning of the new millennium*. *Journal of Marine Systems* 51: 345-353.
- CARBOGNIN L. *et al.*, 2005a: CARBOGNIN L., TEATINI P. & TOSI L. (2005a) - *Land Subsidence in the venetian area: known and recent aspects*. *Giornale di Geologia Applicata* 1, 2005, 5-11, doi: 10.1474/GGA.2005-01.0-01.0001.

- CARBOGNIN L. *et al.*, 2005b: CARBOGNIN L., RIZZETTO F., TOSI L., STROZZI T., TEATINI P. & VITTURI A. (2005b) - *A new monitoring strategy to control land movements. The Veneto Region test area*. In: ZHANG A. *et al.* (eds.) - *Land Subsidence*. Shanghai Scientific & Technical Publ., Vol. 1: 435-444.
- CARBOGNIN L. *et al.*, 2006: CARBOGNIN L., GAMBOLATI G., PUTTI M., RIZZETTO F., TEATINI P. & TOSI L. (2006) - *Soil contamination and land subsidence raise concern in the Venice watershed, Italy*. In: C.A. Brebbia C.A., Conti M. & Tiezzi E. (eds.) - *Management of Natural Resources, Sustainable Development and Ecological Hazard. Wit Transaction on Ecology and the Environment*. (ISSN:1743-3541), WIT Press, Southampton, UK, 99, 691-700.
- CARBOGNIN L. *et al.*, 2008: CARBOGNIN L., RIZZETTO F., TEATINI P., TOSI L. & STROZZI T. (2008) - *La subsidenza del veneziano (sintesi dei risultati)*. In: *Geologia urbana di Venezia*. Atti del convegno, Mestre-Venezia, 24.11.2006. *Geologia dell'Ambiente*, Suppl. 3, p. 91-98.
- CARBOGNIN L. *et al.*, 2009: CARBOGNIN L., TEATINI P. & TOSI L. (2009) - *The impact of relative sea level rise on the Northern Adriatic coast*. In: BREBBIA C.A. *et al.* (eds.) - *Management of Natural Resources, Sustainable Development and Ecological Hazard*. Wit Transaction on Ecology and the Environment (ISSN:1743-3541), C.A. WIT Press, Southampton, UK, 127, 137-148.
- CARBOGNIN L. *et al.*, 2010: CARBOGNIN L., TEATINI P., TOMASIN A. & TOSI L. (2010) - *Global change and relative sea level rise at Venice: what impact in term of flooding*. *Climate Dynamics*, 35, 6, 1055-1063.
- CARDARELLI *et al.*, 2001: CARDARELLI A., CATTANI M., LABATE D. & PELLEGRINI S. (2001) - *Il sistema MUTINA: esperienze e evoluzione*. In: GUERMANDI M.P. (a cura di) - *Rischio Archeologico: se lo conosciamo lo evitiamo*. Atti del convegno di studi su *Cartografia archeologica e tutela del territorio*, Ferrara, (24-25.03.2000), All'Insegna del Giglio, Firenze, 200-210.
- CARMINATI E. *et al.*, 2003: MARTINELLI G. & SEVERI P. (2003) - *Influence of glacial cycles and tectonics on natural subsidence in the Po Plain (Northern Italy): Insights from ¹⁴C ages*. *Geochemistry Geophysics Geosystems*, 4 (10), 1-14.
- CAROBENE L. & BRAMBATI A. (1975) - *Metodo per l'analisi morfologica quantitativa delle spiagge*. *Bollettino Società Geologica Italiana*, 94, 479-493.
- CASADORO G. *et al.*, 1976: CASTIGLIONI G.B., CORONA E., MASSARI F., MORETTO M.G.F., PAGANELLI A., TEREZIANI F. & TONIELLO V. (1976) - *Un deposito tardowurmiano con tronchi subfossili alle fornaci di Revine (Treviso)*. *Boll. Comit. Glac. It.*, 24, 23-63.
- CASTELLI G. *et al.*, 1994: CASTELLI G., DE SANTIS M., RUOL P. & SABBATANI M. (1994) - *Evoluzione recente dei bassi fondali del litorale veneziano*. *Rapporto Tecnico CNR*: 10 pp.
- CASTIGLIONI B. (1940) - *L'Italia nell'età quaternaria*. In: DAINELLI G. (a cura di) - *Atlante fisico economico d'Italia*. Milano, Consociazione Turistica Italiana, tav. 3.
- CASTIGLIONI B. (2000) - *Un modello interpretativo per una riflessione sul paesaggio: idee di metà percorso*. In: CASTELNOVI P. (a cura di) - *Il senso del paesaggio*. IRES, Torino, 73-76.
- CASTIGLIONI B. (2002) - *Percorsi nel paesaggio*. Torino, Giappichelli, 197 pp.
- CASTIGLIONI G.B. (1978) - *Il ramo più settentrionale del Po nell'antichità*. *Accademia Patavina di Scienze Lettere ed Arti*, 90 (3), 157-164.
- CASTIGLIONI G.B. (1982) - *Questioni aperte circa l'antico corso del Brenta nei pressi di Padova*. In: Atti e Memorie *Accademia Patavina di Scienze Lettere ed Arti*, 94, (3), 159-170.
- CASTIGLIONI G.B. (1992) - *Esempi veneti relativi alla carta geomorfologica (in preparazione) della pianura padana*. In: Atti del seminario di studio *Tipologia di insediamento e distribuzione antropica nell'area veneto-istriana dalla propostoria all'alto medioevo*. Asolo, 3-5.11.1989, Edizioni della Laguna, Monfalcone, 299-305.
- CASTIGLIONI G.B. (2001) - *Le risposte del sistema fluviale alle variazioni ambientali*. In: CASTIGLIONI G.B. & PELLEGRINI G.B. (a cura di) - *Note illustrative della Carta Geomorfologica della Pianura Padana*. *Geogr. Fis. Dinam. Quat.*, suppl. IV, 165-188.
- CASTIGLIONI G.B. (2004) - *Quaternary glaciations in the eastern sector of the Italian Alps*. *Developments in Quaternary Science*, Volume 2, 209-214.
- CASTIGLIONI G.B. & FAVERO V. (1987) - *Linee di costa antiche ai margini orientali della Laguna di Venezia e ai lati della foce attuale del Piave*. Istituto Veneto di Scienze Lettere ed Arti, Commissione di Studio dei Provvedimenti per la Conservazione e Difesa della Laguna e della Città di Venezia. *Rapporti e Studi*, 10, 17-30.
- CASTIGLIONI G.B. & PELLEGRINI G.B. (a cura di) (2001) - *Note illustrative della Carta Geomorfologica della Pianura Padana*. *Geogr. Fis. Dinam. Quat.*, suppl. IV, 207 pp.
- CASTIGLIONI G.B. *et al.*, 1987: CASTIGLIONI G.B., GIRARDI A. & RODOLFI G. (1987) - *Le tracce degli antichi percorsi del Brenta per Montà e Arcella nei pressi di Padova: studio geomorfologico*. *Memorie Scienze Geologiche*, 39, 29-149.
- CASTI MORESCHI E. (1990a) - *Salvaguardia di una zona umida - Le valli da pesca nel delta del Tagliamento*. *Quaderni del Dipartimento di Geografia, Università di Padova*.
- CASTI MORESCHI E. (1990b) - *Val Grande. Storia di una valle da pesca*. Dipartimento di Geografia, Università degli Studi di Padova.
- CAVALERI L. *et al.* 1996: CAVALERI L., BERGAMASCO L., BERTOTTI L., BIANCO L., DRAGO M., IOVENITTI L., LAVAGNINI A., LIBERATORE G., MARTORELLI S., MATTIOLI F., OSBORNE A.R., PEDULLI L., RIDOLFO R., SCLAVO M., SERIO M., TESCARO N., TIBALDI S., TOSI E. & VIEZZOLI D. (1996) - *Wind and waves in the northern Adriatic Sea*. *Il Nuovo Cimento*, 19 C, n. 1. Riprodotto In: *La ricerca scientifica per Venezia*. Vol. II, Tomo II. Istituto Veneto di Scienze Lettere ed Arti, Tipografia La Garangola, Padova (2000), 867-902.
- CESSI R. (1943) - *Il problema della Brenta dal secolo XII al secolo XV*. In: BRUNELLI G., MAGRINI G. & ORSI P. (a cura di) - *La laguna di Venezia*. 2 (1), Ferrari, Venezia, I, p. IV, t. VII, fasc. I, 1-77.
- CHALINE J. & JERZ H. (1984) - *Arbeitsergebnisse der Subkommission für Europäische Quartarstratigraphie. Stratotypen des Wurm-Glazials*. *Eiszeitalter und Gegenwart*, 35, 185-206.
- CHEVALLIER R. (1988) - *Geografia, archeologia e storia della Gallia Cisalpina. Il quadro geografico*. *Antropologia Alpina*, Torino, 310 pp.
- CIFFONELLI C. *et al.*, 1987: CIFFONELLI C., DEI SVALDI A. & VITTURI A. (1987) - *Descrizione dell'evento alluvionale verificatosi il 31 gennaio - 1 febbraio 1986 in provincia di Venezia, con indicazione dei danni derivati*. Atti VI Congresso Naz. dell'Ordine dei Geologi *Il geologo e l'ambiente: un ruolo, una professione, un impegno*, Padova.
- CIPRIANO S. & SANDRINI G.M. (2001) - *La banchina fluviale di Opitergium*. In: ZACCARIA C. (a cura di) - *Strutture portuali e rotte marittime nell'Adriatico di età romana*. *Antichità Altoadriatiche*, XLVI, 289-294.
- CIVITA M. (1990) - *Legenda unificata per le carte della vulnerabilità dei corpi idrici sotterranei / Unified legend for the aquifer pollution vulnerability Maps*. Studi sulla vulnerabilità degli acquiferi, 1 (Append.), Pitagora Edit., Bologna, 13 pp.

- CIVITA M. (1990) - *La valutazione della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento*. Proc. "1° Conv. Naz. Protezione e gestione acque sotterranee: metodologie, tecnologie e obiettivi", v. 3, Marano s. P. (Modena).
- CIVITA M. (1994) - *Le carte della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento: teoria e pratica*. Quaderni di Tecniche di Protezione Ambientale, Pitagora Ed., Bologna, 7, 325 pp.
- CIVITA M., DE MAIO M. 1997 - *SINTACS. Un sistema parametrico per la valutazione e la cartografia della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento*. Metodologia & automatizzazione. Pitagora Edit., Bologna, 191 pp.
- CIVITA M., DE MAIO M. (2000) - *Valutazione e cartografia automatica della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento con il sistema parametrico SINTACS R5*. Pitagora Edit., Bologna, 226 pp, 1 CD-ROM.
- CIVITA M. et al. 1999: CIVITA M., FIORUCCI A., PIZZO S., VIGNA B. (1999) - *Utilizzazione estensiva delle prove rapide d'acquifero per la valutazione della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento*. Quaderni di Geologia Applicata suppl. 2/99: 105-109. Atti 3° Conv. Naz. Protezione e gestione delle acque sotterranee per il III millennio. Parma 13÷15.10.1999, Pitagora Ed., Bologna.
- CLARK I., FRITZ P. (1997) - *Environmental Isotopes in Hydrogeology*, Lewis Publisher, 1997.
- CNR (1976) - *Ricerche sul regime e la conservazione dei litorali. Programma speciale per la Conservazione del Suolo*. In: "Rapporto 1974" (a cura di VERSINO L.), Quaderni della Ricerca Scientifica, 92, 180 pp.
- COMEL A. (1958) - *I terreni della zona inferiore della bassa pianura friulana*. In: Nuovi Studi della Staz. Chim.-Agraria Sperim. di Udine. Pubblic. n° 18, Udine, 81 pp.
- COMEL A. (1964) - *I terreni agrari compresi nella Tavoletta I.G.M. Quarto d'Altino*. Nuovi studi della Stazione Chimico-Agraria Sperimentale di Udine, Pubbl. n° 67, 26 pp.
- COMEL A. (1964) - *Terreni agrari della provincia di Treviso*. Stazione Chimico-Agraria Sperimentale di Udine, Treviso, 30 pp.
- COMEL A. & VITTURI A. (a cura di) (1983) - *Studio geopedologico ed agronomico del territorio provinciale di Venezia, parte nord-orientale*. Provincia di Venezia, pp. 335.
- COMEL A. (1983) - *Caratteristiche generali dei terreni agrari situati nella zona nord-orientale della provincia di Venezia*. In: COMEL A. & VITTURI A. (a cura di) (1983) - *Studio geopedologico ed agronomico del territorio provinciale di Venezia, parte nord-orientale*. Provincia di Venezia, pp. 71-94.
- COMEL A. et al., 1982: COMEL A., NASSIMBENI P. & NAZZI P. (1982) - *Carta pedologica della pianura friulana e del connesso anfiteatro morenico del Tagliamento*. Reg. Auton. Friuli-Venezia Giulia, Trieste.
- COMPAGNONI A. et al., 1996: COMPAGNONI A., CARTA M., CERA F. & CERA M. (1996) - *Applicazione di tecnologie G.I.S. finalizzate alla realizzazione di una cartografia di rischio ambientale nel settore meridionale della provincia di Venezia*. Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-forestali dell'Università di Padova. Inedito.
- COMPOSTELLA C. (1995) - *Ornata Sepulcra. La "borghesie" municipali e la memoria di sé nell'arte funeraria del Veneto romano*. La nuova Italia Editrice, Firenze, 315 pp.
- CONSORZIO VENEZIA NUOVA (1985) - *Raccolta ed elaborazione di dati meteomarinari. Opere per la difesa della laguna di Venezia dalle acque alte*. Ministero LL.PP., Magistrato alle Acque, Technital, Relazione n° 40/85: 114 pp.
- CONSORZIO VENEZIA NUOVA (1997) - *Rilievi topobatimetrici lungo il litorale di Jesolo e nella foce del fiume Piave*. TE.MA., ottobre '97.
- CONSORZIO VENEZIA NUOVA (1999) - *Rilievi di controllo sull'evoluzione dei litorali di Cavallino e Pellestrina*. Studio A.7.4 III fase. IV Campagna - settembre '99.
- CONSORZIO VENEZIA NUOVA (2000) - *Interventi di difesa del litorale di Lido*. Progetto Esecutivo. Relazione Tecnica Technital: 149 pp.
- CONSORZIO VENEZIA NUOVA (2004a) - *Studi ed indagini per la sistemazione della foce del Piave e del litorale di Cortellazzo*. Rilievi TE.MA 2002, studio C.9.2/IV.
- CONSORZIO VENEZIA NUOVA (2004b) - *Monitoraggio dei litorali da Foce Brenta a Foce Livenza*. Rilievi TE.MA giugno 2004, studio C.2.1/VI.
- CONSORZIO VENEZIA NUOVA (2004c) - *Monitoraggio dei litorali da Isola Verde ad Eraclea*. Technital, studio C.2.1/VI, settembre 2004.
- CONTON L. (1911) - *Le antichità romane della Cava Zuccarina*. Ateneo Veneto, XXXIV, 43-68.
- CORBAU C. et al., 2009: CORBAU C., SIMEONI U., TESSARI U., MARTINELLI L., BRUNELLI V. & UTIZI K. (2009) - *Approcci metodologici per la valutazione della propensione alla sommersione della costa ferrarese e ravennate*. In: Atti del Convegno Coste: Prevenire, Programmare, Pianificare. Maratea 15÷17.05.2008. Studi e Ricerche, Collana dell'Autorità di Bacino della Basilicata, n° 9, 45-54
- CORREGGIARI A. et al., 1996: CORREGGIARI A., FIELD M. & TRINCARDI F. (1996) - *Late Quaternary transgressive large dunes on the sediment-starved Adriatic shelf*. In: DE BATIST M. & JACOBS P. (eds) - *Geology of Siliciclastic Shelf Seas*. Geol. Soc. Spec. Pub., 117, 155-169.
- Correggiari A., Roveri M. & Trincardi F., 1996 - *Late Pleistocene and Holocene evolution of the North Adriatic Sea*. Il Quaternario, 9, 697-704.
- COZZI R., PROTTI P., RARO T. (1987) - *Analisi chimica: moderni metodi strumentali*. ESU Spa.
- CRAIG H. (1961) - *Isotopic variations in meteoric waters*. Science 133, 1702-1703.
- CREMASCHI M. (1987) - *Vetusols and Paleosols in the Central Po Plain (Northern Italy)*. Unicopli, Studi e Ricerche sul territorio, 28, 306 pp.
- CREMASCHI M. (1990) - *Pedogenesi medio olocenica ed uso dei suoli durante il Neolitico in Italia settentrionale*. In: BIAGI P. (a cura di) - *The Neolithisation of the Alpine Region*. Monografie di Natura Bresciana, 13, 71-89.
- CREMASCHI M. (1997) - *Terramare e paesaggio padano*. In: BERNABÒ BREA M., CARDARELLI A. & CREMASCHI M. (a cura di) - *Le Terramare, la più antica civiltà padana*. Electa, Milano, 107-125.
- CRESCI MARRONE G. (2001) - *Nascita e sviluppo di Concordia, colonia civium romanorum*. In: CROCE DA VILLA P. & DI FILIPPO BALESTRAZZI E. (a cura di) - *Concordia Sagittaria tremila anni di storia*. Esedra, Padova, 119-125.
- CRESCI MARRONE G. (2011) - *La romanizzazione (seconda metà III - metà I secolo a.C.)*. In: TIRELLI M. (a cura di) - *Altino antica. Dai veneti a Venezia*. Marsilio, Venezia, 95-99.
- CRESCI MARRONE G. & TIRELLI M. (a cura di) (2001) - *Orizzonti del sacro. Culti e santuari antichi in Altino e nel Veneto orientale*. Atti del convegno, Venezia S. Sebastiano, 2÷3.12.1999, Quasar, Roma, 326 pp.
- CRESCI MARRONE G. & TIRELLI M. (2003) - *Altino da porto dei Veneti a mercato romano*. In: CRESCI MARRONE G. & TIRELLI M. (a cura di) - *Produzioni, merci e commerci in Altino preromana e romana*. Atti del convegno, Venezia 12÷14.12.2001, Quasar, Roma, 7-25.
- CRESCI MARRONE G. & TIRELLI M. (a cura di) (2009) - *Altino. Il santuario altinate: Strutture del sacro a confronto e i luoghi di culto lungo la via Annia*. Atti del convegno Venezia 4÷6.12.2006, Edizioni Quasar, Roma, 435 pp.

- CRESSIE N. (1991) - *Statistics for Spatial Data*. John Wiley, Hoboken n° J., 900 pp.
- CROCE DA VILLA P. *et al.*, 1984: CROCE DA VILLA P., FOGOLARI G., POLACCO R., TOMBOLANI M. & ZATTERA G. (1984) - *La via Annia, memoria e presente. Itinerari del Veneto orientale*. Provincia di Venezia, Arsenale editrice, Venezia, pp. 187.
- CROCE DA VILLA P. (a cura di) (1990) - *Musile di Piave: ponte romano lungo l'Annia*. Quaderni di Archeologia del Veneto, VI, 165-188.
- CROCE DA VILLA P. (1991a) - *Le vie di comunicazione. Organizzazione del territorio. Gli insediamenti rustici. Le schede*. In: *La pianura tra Sile e Piave nell'antichità*. Provincia di Venezia, 15, 4/6, 10-32.
- CROCE DA VILLA P. (a cura di) (1991b) - *Concordia Sagittaria. Scavo nell'abitato protostorico*. Quaderni di Archeologia del Veneto, VII, 79-92.
- CROCE DA VILLA P. (1996a) - *Musile di Piave. Il santuario*. In: *La protostoria tra Sile e Tagliamento. Antiche genti tra Veneto e Friuli*. Catalogo della mostra, Concordia (14.09÷10.11.1996). Esedra, Padova, 81-96.
- CROCE DA VILLA P. (1996b) - *Via Fornasatta-Area Coop*. In: *La protostoria tra Sile e Tagliamento. Antiche genti tra Veneto e Friuli*. Catalogo della mostra, Concordia (14.09÷10.11.1996). Esedra, Padova, 271-275.
- CROCE DA VILLA P. (1999) - *La romanizzazione lungo il tracciato della via Annia tra Altino e Concordia*. In: CRESCI MARRONE G. & TIRELLI M. (a cura di) - *Vigilia di romanizzazione. Altino e il veneto orientale tra il II secolo a.C.* Atti del convegno, Venezia, S. Sebastiano, 2-3 dicembre 1997. Quasar, Roma, 211-228.
- CROCE DA VILLA P. (2001a) - *Scali e infrastrutture commerciali dell'entroterra nel veneto orientale*. In: *Strutture portuali e rotte marittime nell'Adriatico di età romana*. Antichità Altoadriatiche, XLVI, 277-288.
- CROCE DA VILLA P. (2001b) - *Lugugnana, località Tomba*. In: CROCE DA VILLA P. & DI FILIPPO BALESTRAZZI E. (a cura di) - *Concordia Sagittaria. Tremila anni di storia*. Esedra, Padova, 74-76.
- CROCE DA VILLA P. (2001c) - *Le mura di cinta*. In: CROCE DA VILLA P. & DI FILIPPO BALESTRAZZI E. (a cura di) - *Concordia Sagittaria. Tremila anni di storia*. Esedra, Padova, 146-158.
- CROCE DA VILLA P. (2001d) - *Le necropoli*. In: CROCE DA VILLA P. & DI FILIPPO BALESTRAZZI E. (a cura di) - *Concordia Sagittaria. Tremila anni di storia*. Esedra, Padova, 197-208.
- CROCE DA VILLA P. (2001e) - *Evoluzione dell'impianto urbano dell'antica Concordia*. In: CROCE DA VILLA P. & DI FILIPPO BALESTRAZZI E. (a cura di) - *Concordia Sagittaria. Tremila anni di storia*. Esedra, Padova, 125-145.
- CROCE DA VILLA P. & DI FILIPPO BALESTRAZZI E. (a cura di) (2001) - *Concordia Sagittaria. Tremila anni di storia*. Esedra, Padova, 393 pp.
- CUCCHI F. *et al.*, 2008: CUCCHI F., FRANCESCHINI G. & ZINI L. (2008) - *Hydrogeochemical investigations on groundwater provinces of the Friuli Venezia Giulia aquifers, north-eastern Italy*. Environmental Geology, vol. 55, pp. 985-989.
- D'AGOSTINO M. & MEDAS S. (2006) - *Lio Piccolo. I romani in Laguna*. Archeologia Viva, XXV, 115, gennaio-febbraio 2006, 49-57.
- DAL CIN R. & SIMEONI U. (1994) - *A model for determining the classification, vulnerability and risk in the southern coastal zone of the Marche (Italy)*. Journal of Coastal Research, 10, 18-29.
- D'ALPAOS L. & DAL PRÀ A. (1978) - *Indagini sperimentali sull'alimentazione delle falde idriche nell'alta pianura alluvionale del Piave*. Atti XVI Congr. di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, pp. 1-18.
- D'ALPAOS L. & MATTICCHIO B. (1996) - *"Come convivere con le alluvioni"*. In: Atti convegno *La prevenzione del rischio idraulico in provincia di Venezia*. Provincia di Venezia.
- D'ALPAOS L. & MATTICCHIO B. (1999) - *Modello matematico per la simulazione della propagazione delle piene e degli eventuali fenomeni d'esondazione ai fini della previsione e dell gestione delle situazioni di emergenza idraulica*. In: VITTURI A. (a cura di) (1999) - *Programma di previsione e prevenzione in materia di Protezione Civile. Relazione di sintesi*. Provincia di Venezia, Settore Tutela e Valorizzazione del Territorio, U.O. Difesa del Suolo e Protezione Civile, pp. 46-47.
- DAL PRÀ A. (1983) - *Carta idrogeologica dell'alta pianura veneta*. Ist. Geol. Univ. Padova.
- DAL PRÀ A. & ANTONELLI R. (1980) - *Restituzione freatica ai fontanili nell'alta pianura veneta, tra il fiume Piave e i Monti Lessini*. Quad. Ist. Ric. sulle Acque, LI (1).
- DAL PRÀ A. *et al.*, 1977: DAL PRÀ A., BELLATI R., COSTACURTA R. & SBETTEGA G. (1977) - *Distribuzione delle ghiaie nel sottosuolo della pianura veneta*. Quaderni dell'Istituto di Ricerca sulle Acque, 366 pp.
- DAL PRÀ A. *et al.*, 1989: DAL PRÀ A., FABBRI P. & BELLENGHI G. (1989) - *Esempi di sfruttamento delle falde artesiane nella media pianura veneta in aree non servite da acquedotti pubblici. Modalità di utilizzazione, quantità di prelievi, vantaggi ed effetti negativi*. Mem. Sc. Geol., 41, pp. 115-130.
- DAL PRÀ A. *et al.*, 1990: DAL PRÀ A., FABBRI P. & BELLENGHI G. (1990) - *Nuovi dati idrogeologici sul sottosuolo della pianura alluvionale trevigiana nella zona di Candelù e Roncadelle a ridosso del fiume Piave*. Mem. Sc. Geol., 42, pp. 105-119.
- DAL PRÀ A. *et al.*, 1992: DAL PRÀ A., FABBRI P. & BORTOLETTO C. (1992) - *Il sistema idrogeologico artesiano e il suo sfruttamento nell'area tra Treviso e il fiume Piave*. Mem. Sc. Geol., 44, pp.151-170.
- DAL PRÀ A. *et al.*, 1996: DAL PRÀ A., MARTIGNAGO G., NICEFORO U., TAMARO M., VIELMO A. & ZANNIN A. (1996) - *Il contributo delle acque irrigue alla ricarica delle falde nella pianura alluvionale tra Brenta e Piave*. Rivista "L'acqua", n° 4, Roma.
- DAL PRÀ A. *et al.*, 1998: DAL PRÀ A., MAZZOLA M. & NICEFORO U. (1998) - *Misure sperimentali sulla dispersione delle acque irrigue alle falde nell'alta pianura del fiume Brenta*. Riv. Irrigazione e drenaggio, n° 3.
- DAL PRÀ A. *et al.*, 2000: DAL PRÀ A., GOBBO L., VITTURI A. & ZANGHERI P. (2000) - *Indagine idrogeologica del territorio provinciale di Venezia*. Provincia di Venezia, pp. 126.
- DAVANZO D. & DAVANZO M. (2002) - *La "fossa" antica di Mil-lepertiche*. In: GHEDINI F., BONDESAN A. & BUSANA M.S. (a cura di) - *La tenuta di Ca' Tron. Ambiente e storia nella terra dei Dogi*. Cierre Edizioni, Sommacampagna di Verona, 139-152.
- D'ANDREA M. & DI LEGINIO M. (2003) - *Progetto Conservazione del patrimonio geologico italiano". I censimenti sui siti di interesse geologico in Italia, aggiornamento a dicembre 2002*. Geologia dell'ambiente, Numero speciale 1/2003: Atti del Convegno "La geologia ambientale: strategie per il nuovo millennio", Sigea, Roma, 154-163.
- DAZZI R. *et al.*, 1994: DAZZI R., GATTO G., MOZZI G., ZAMBON G. (1994) - *Lo sfruttamento degli acquiferi artesiani di Venezia e suoi riflessi sulla situazione altimetrica del suolo. Parte prima: relazione generale. Parte seconda: la rete di monitoraggio delle pressioni di stato. Parte terza: andamento evolutivo delle pressioni di stato*. CNR - ISDGM, Venezia.

- DAZZI R. *et al.*, 1999: DAZZI R., GATTO G., MOZZI G., ZAMBON G., CONCHETTO E., BIZZOTTO A., FERRARO C., FUMAGALLI F., ARGOLINI A., FERRONATO A., SIVIERO G., TIEPPO P. & VAZZOLER P. (1999) - *Qualità delle acque sotterranee nella conoide alluvionale del Brenta (Media e Alta Pianura Veneta). Tendenze evolutive*. ARPAV, CNR - Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche, ISDGM.
- DAZZI R. *et al.*, 2000: DAZZI R., GATTO G., MOZZI G., ZAMBON G., GOVI M., RUSCONI A., BALDIN G., DE GIROLAMO R., FERLA M., CONCHETTO E. & MATTICCHIO B. (2000) - *Salvaguardia del patrimonio idrico sotterraneo del Veneto: cause del depauperamento in atto e provvedimenti urgenti da adottare*. CNR - ISDGM; Autorità di Bacino dei fiumi Tagliamento, Livenza, Piave, Brenta-Bacchiglione; Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale - Ufficio Compartimentale di Venezia; Consorzio di Bonifica Pedemontano-Brenta.
- DAZZI R. *et al.*, 2001: DAZZI R., GATTO G., MOZZI G., ZAMBON G., CONCHETTO E. & MATTICCHIO B. (2001) - *Dinamica delle acque sotterranee in terreni alluvionali*. CNR - ISDGM - Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche.
- DE BON A. (1938) - *Rilievi di campagna*. In: *La via Claudia Augusta Altinate*. Atti del Reale Istituto Veneto di Scienze, Lettere ed Arti, 13-68.
- DE FRANCESCHINI M. (1998) - *Le ville romane della X Regio (Venetia et Histria)*. Roma, 963 pp.
- DE FRANCO R. *et al.*, 2009: DE FRANCO R., BIELLA G., TOSI L., TEATINI P., LOZEJ A., CHIOZZOTTO B., GIADA M., RIZZETTO F., CLAUDE C., MAYER A., BASSAN V. & GASPARETTO-STORI G. (2009) - *Monitoring the saltwater intrusion by time lapse electrical resistivity tomography: The Chioggia test site (Venice Lagoon, Italy)*. Journal of Applied Geophysics, 69, 117-130.
- DE GÖTZEN A. & GREGO S. (2011) - *Relazione tra Piano delle Acque e Piano Generale di Bonifica e Tutela del Territorio*. In: GATTOLIN M., BASSAN V. BONATO L., EULISSE E., ABORDI M., FERIALDI A., PATTARO A. & STEVANIN M. (a cura di) - *I piani comunali delle acque. Strumenti di sicurezza idraulica e opportunità per la rigenerazione del territorio*. Provincia di Venezia e Civiltà dell'Acqua.
- DE GUIO A. (1985) - *Archeologia di superficie e archeologia superficiale*. Quaderni di Archeologia del Veneto, 1, 176-184.
- DE GUIO A. *et al.*, 1990: DE GUIO A., WITEHOUSE R. & WILKING J. (a cura di) (1990) - *Progetto Alto-Medio Polesine: quarto rapporto*. Quaderni di Archeologia del Veneto, VI, 217-238.
- DE GUIO A. (1992) - *Archeologia della complessità e calcolatori: un percorso di sopravvivenza fra teorie del caos, attrattori strani, frattali e frattaglie del postmoderno*. In: BERNARDI M. (a cura di) - *Archeologia del paesaggio*. All'Insegna del Giglio, Firenze, 309-389.
- DE GUIO A. (1995) - *Alto - Medio Polesine - Basso Veronese: from a "landscape archaeology" to an "archaeology of the mind"*. In: CHRISTIE N. - *Settlement and economy in Italy 1500 BC to AD 1500*. Papers of the Fifth Conference on Italian archaeology, Oxford, 13-24.
- DE GUIO A. (1997) - *Alla periferia del mondo terramaricolo: "archeologia della complessità" nelle Valli Grandi Veronesi*. In: BERNABÒ BREA M., CARDARELLI A. & CREMASCHI M. - *Le terremare. La più antica civiltà padana*. Electa, Milano, 801 pp.
- DE GUIO A. *et al.*, 2001: DE GUIO A., BRESSAN C., KIRSCHNER P. & ZILLI S. (a cura di) (2001) - *"Superfici di rischio" e C.I.S.A.S. Se lo conosci, non lo eviti*. In: GUERMANDI M.P. (a cura di), *Rischio Archeologico: se lo conosci lo eviti*. Atti del convegno di studi su cartografia archeologica e tutela del territorio, Ferrara, 24÷25.03.2000, All'Insegna del Giglio, Firenze, 265-306.
- DE MARINIS R. & DALL'AGLIO P.L. (1999) - *Il progetto di Carta Archeologica delle Marche*. In: AMENDOLA B. (a cura di) - *Carta archeologica e pianificazione territoriale. Un problema politico e metodologico*. Incontro di studi, Roma, marzo 1997, Fratelli Palombi, 160-162.
- DE ROSSI J. & VITTURI A. (1992) - *L'archivio informatizzato delle prove geognostiche in provincia di Venezia*. Atti XXVIII Convegno Naz. Ass. It. Cartografia, Fabriano (AN).
- DE ROSSI J. & VITTURI A. (1993a) - *La "Carta geologica ai fini della pianificazione territoriale: penalità, vocazioni, risorse" e la "Carta delle aree di tutela e delle proposte d'intervento" per il Piano Territoriale della Provincia di Venezia*. Bollettino dell'Associazione Italiana di Cartografia, 87-88/93.
- DE ROSSI J. & VITTURI A. (1993b) - *Piano Territoriale Provinciale di Venezia. Relazione geologica. Sintesi*. Suppl. alla rivista "Provincia di Venezia", 4/92.
- DE ROSSI J. & VITTURI A. (1994) - *Lo studio geologico per il Piano Territoriale della Provincia di Venezia: metodo e risultati*. Atti VIII Congresso Nazionale dei Geologi (Roma, 21÷23.01.1994), pp. 219-225.
- DI FILIPPO BALESTRAZZI E. (1996a) - *Concordia Sagittaria, inquadramento topografico*. In: *La protostoria tra Sile e Tagliamento. Antiche genti tra Veneto e Friuli*. Catalogo della mostra, Concordia (14.09÷10.11.1996), Esedra, Padova, 196-198.
- DI FILIPPO BALESTRAZZI E. (1996b) - *L'insediamento protostorico nell'area del teatro-quartiere Nord-Ovest*. In: *La protostoria tra Sile e Tagliamento. Antiche genti tra Veneto e Friuli*. Catalogo della mostra, Concordia (14.09÷10.11.1996). Esedra, Padova, 201-204.
- DI FILIPPO BALESTRAZZI E. (1999) - *Concordia un polismation tra protostoria e romanizzazione*. In: *Protostoria e storia del Venetorum Angelus*. In: Atti del XX convegno di Studi Etruschi e Italici, Oeschli, Firenze, 91-102.
- DI FILIPPO BALESTRAZZI E. (2000) - *Tre frammenti micenei da Torcello*. Hesperia, X, 203-223.
- DI SIPIO E. *et al.*, 2005: DI SIPIO E., GALGARO A., ZUPPI G.M. & ZANGHERI P. (2005) - *Detecting the origin of salt water contamination in groundwater in a lagoon area by the combined use of geophysical and geochemical tools: the example of the southern Venice Lagoon mainland. Groundwater and saline intrusion*. Proceedings of the 18th Salt Water Intrusion Meeting. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid, Spain, Hidrogeología y Aguas Subterráneas, Series, 15, 373-384.
- DI SIPIO E. *et al.*, 2006: DI SIPIO, E., GALGARO, A., ZUPPI, G. M. (2006) - *New geophysical knowledge of groundwater systems in Venice estuarine environment*. Estuarine, Coastal and Shelf Science 66, 6-12.
- DI SIPIO E. *et al.*, 2007: DI SIPIO, E., GALGARO, A., ZUPPI, G. M. (2007) - *Contaminazione salina nei sistemi acquiferi dell'entroterra meridionale della Laguna di Venezia*. Giornale di Geologia Applicata, 6, 01-08.
- DI SIPIO E. *et al.*, 2008: DI SIPIO, E., GALGARO, A., RAPAGLIA J., ZUPPI G.M. (2008) - *Salt water contamination on Venice Lagoon mainland: new evaluation of origin, extension and dynamics*. Proceedings 1st SWIM-SWICA Int. Joint Saltwater Intrusion Conference, Cagliari-Chia Laguna, Italy, 3ESSE Commerciale (CA), 195-204.
- DONÀ S. & VITTURI A. (2002) - *Protezione civile e piano territoriale di coordinamento*. Rivista "Urbanistica".
- DOGLIONI C. (1993) - *Some remarks on the origin of fore-deeps*. Tectonophysics, 228, 1-20.
- DONNICI S. & SERANDREI BARBERO R. (2004) - *Paleogeografia*

- e cronologia dei sedimenti tardopleistoceni ed olocenici presenti nel sottosuolo di Valle Averto (Laguna di Venezia, bacino centrale). Lavori della Società veneziana di Storia naturale, 29, 101-108.
- DONNICI S. et al., 2011: DONNICI S., SERANDREI BARBERO R., BINI C., BONARDI M. & LEZZIERO A. - *The Caranto Paleosol and its Role in the Early Urbanization of Venice*. In "Geoarcheology: an International Journal", 4, 2011, vol. 26, pp. 514-543.
- DORIGO W. (1983) - *Venezia. Origini, ipotesi e ricerche sulla formazione della città*. Electa Fantoni Grafica, Venezia, 1-2-3, 775 pp.
- DORIGO W. (1994a) - *Venezie sepolte nella terra del Piave: Duemila anni fa fra il dolce e il salso*. Viella, Roma, 440 pp.
- DORIGO W. (1994b) - *In flumina et fossas. La navigazione endolitorea fra Chioggia ed Aquileia in età romana e medioevale*. Aquileia Nostra, 65, 82-140.
- DORIGO W. (1995) - *Fra il dolce e il salso: origini e sviluppi della civiltà lagunare*. In: CANIATO G., TURRI E. & ZANETTI M. (a cura di) - *La laguna di Venezia*. Cierre edizioni, Sommacampagna di Verona, 137-192.
- DRAMIS F. & BISCI C. (1998) - *Cartografia geomorfologica*. Editore Pitagora, Bologna.
- ENGLAND C.B. (1973) - *Relative leaching potentials estimated from hydrologic soil groups*. Wat. Res. Bull. Am. Wat. Res. Ass. 9, 3, pp. 26-34.
- ESRI inc. (1992) - *Arc CAD Command Reference*.
- FABBRI P. et al. (2007): FABBRI P., MARCOLONGO E., ROSIGNOLI A. & ZANGHERI P. (2007) - *Deep aquifer regimes in the Venetian plain (NE Italy)*. In: Proceeding of XXXV Congress of International Association of Hydrogeologist I.A.H. (Abstract), Lisbona, P.
- FABBRI P. et al. (2008): FABBRI P., MARCOLONGO E., ROSIGNOLI A. & ZANGHERI P. (2008) - *Hydrogeological characteristics of some artesian aquifers in the middle Venetian plain (NE Italy)*. In: Proceeding of XXXIII International Geological Congress (Abstract), Oslo, N.
- FABBRI P. et al. (2010): FABBRI P., GAETAN C. & ZANGHERI P. (2010) - *Transfer function - noise modelling of an aquifer system in NE Italy*. Hydrological Processes, DoI: 10.1002/hyp. 7832.
- FAO (2006) - *World Reference Base for Soil Resources 2006*. Food and agriculture organization of the United Nations, Rome.
- FARINELLI F. (1984) - *A proposito di una recente opera sull'evoluzione morfologica della Laguna Veneta e sulle origini di Venezia*. Rivista Geografica Italiana, 91, 429-437.
- FASANI L. (1984) - *L'età del Bronzo*. In: AA.VV. - *Il Veneto nell'antichità*. II, Verona, 451-605.
- FASSIO A. (1998-1999) - *Analisi dei problemi ambientali e territorio della attività zootecnica in un contesto G.I.S.* - Tesi di laurea inedita. Università di Venezia Ca' Foscari.
- FASTELLI C. & VASCELLARI F. (a cura di) (2005) - *Raccolta della normativa statale e regionale: Rischio idraulico*. Provincia di Venezia.
- FAVARETTO I. (1982) - *Ceramica greca, italica e etrusca del Museo Provinciale di Torcello*. Giorgio Bretschneider, Roma.
- FAVERO V. (1983) - *Evoluzione della Laguna di Venezia ed effetti indotti da interventi antropici sulla rete fluviale circumlagunare*. In: MINISTERO LL.PP. - MAGISTRATO ALLE ACQUE (a cura di), Atti del Convegno *Laguna, fiumi, lidi: cinque secoli di gestione delle acque nelle Venezia*. Venezia, 10-12.06.1983, La Press, Fiesse d'Artico, Memoria 2-18, 1-18.
- FAVERO V. (1989) - *Naviglio Brenta*. Provincia di Venezia, 5, 8-10.
- FAVERO V. (1991a) - *Il contesto ambientale - La sequenza stratigrafica dello scavo*. In: CROCE DA VILLA P. (a cura di) - *Concordia Sagittaria. Scavo protostorico*. Quaderni di Archeologia del Veneto, VII, 80-84.
- FAVERO V. (1991b) - *La situazione paleoambientale*. In: *La pianura tra Sile e Piave nell'antichità*. Provincia di Venezia, 15, 4/6, 8-10.
- FAVERO V. (1991c) - *Dal Sile all'antico porto di Evrone: la pianura del Brenta*. In: SEMENZATO C. (a cura di) - *Itinerari culturali nel veneziano. La terraferma veneziana*. Corbo e Fiore, Venezia.
- FAVERO V. (1991d) - *Tra i grandi fiumi e il mare: il paesaggio*. In: GIORDANI SOIKA A. (a cura di) - *Itinerari culturali nel veneziano. La Laguna*. Tomo I, Corbo e Fiore, Venezia.
- FAVERO V. & SERANDREI BARBERO R. (1978) - *La sedimentazione olocenica nella piana costiera tra Brenta e Adige*. CNR - Laboratorio per lo Studio della Dinamica delle Grandi Masse, Venezia.
- FAVERO V., & SERANDREI BARBERO E. (1980) - *Origine ed evoluzione della laguna di Venezia. Bacino meridionale*. Lavori della Società Veneziana di Scienze Naturali, 5, 49-71.
- FAVERO V., & SERANDREI BARBERO E. (1983) - *Oscillazioni del livello del mare ed evoluzione paleoambientale della Laguna di Venezia nell'area compresa tra Torcello e il margine lagunare*. Lavori della Società Veneziana di Scienze Naturali, 8, 83-102.
- FAVERO V. & SALVATORI S. (1992) - *Le indagini archeologiche a Civitas Nova. Appunti per una valutazione della distribuzione antropica nell'area veneta orientale dalla protostoria all'alto medioevo*. In: *Tipologia di insediamento e distribuzione antropica nell'area veneto-istriana dalla protostoria all'alto medioevo*. Atti del Seminario di studio, Asolo, 3-5.11.1989. Edizioni del Vento, Monfalcone, 237-241.
- FAVERO V. et al., 1988: FAVERO V., SCATTOLIN M. & PAROLINI R. (1988) - *Morfologia storica della laguna di Venezia*. Arsenale Editrice, Venezia, pp. 79.
- FERRANTI L. et al., 2006: FERRANTI L., ANTONIOLI F., MAUZ B., AMOROSI A., DAI PRA G., MASTRONUZZI G., MONACO C., ORRÙ P., PAPPALARDO M., RADTKE U., RENDA P., ROMANO P., SANSÒ P. & VERRUBBI V. (2006) - *Markers of the last interglacial sea level highstand along the coast of Italy: tectonic implications*. Quaternary International, 145-146, 30-54.
- FERSUOCH L. (1995) - *S. Leonardo in Fossa Mala e altre fondazioni medievali lagunari*. Restituzione territoriale, storica e archeologica, Jouvence, Venezia, 113 pp.
- FERUGLIO E. (1925) - *La zona delle risorgive del basso Friuli tra Tagliamento e Torre*. Annali della Stazione Chimico-Agraria Sperimentale di Udine, 1 (3), 343 pp.
- FERRI R. & CALZOLARI M. (1989) - *Ricerche archeologiche e paleoambientali nell'area padana: il contributo delle foto aeree*. Gruppo Studi Bassa Modenese, 95 pp.
- FILIASI J. (1811) - *Memorie storiche dei Veneti primi e secondi*. II, Tipografia Seminario, Padova, 208 pp.
- FONTANA A. (2006) - *L'evoluzione geomorfologica della bassa pianura friulana e le sue relazioni con le dinamiche insediative antiche*. Monografie del Museo Friulano di Storia Naturale, 47, Udine, 288 pp., con allegata *Carta Geomorfologica della bassa pianura friulana, scala 1:50.000*.
- FONTANA A. (2007) - *Carta delle unità di paesaggio della provincia di Venezia*, inedita.
- FONTANA A. (2009) - *Geomorfologia e paleoambiente lungo la Via Annia nella pianura friulana*. In: VERONESE F. (a

- cura di), Atti della giornata di Studi *Via Annia, progetto di recupero e valorizzazione di un'antica strada romana*. Padova 19.06.2008, 121-142.
- FONTANA A. & BONDESAN A. (2006) - *Il Tagliamento nella bassa pianura, tra dossi e incisioni fluviali*. In: BIANCO F., BONDESAN A., PARONUZZI P., ZANETTI M. & ZANFERRARI A. (a cura di) - *Il Tagliamento*, Cierre Edizioni, Sommacampagna di Verona, 127-146.
- FONTANA A. et al., 2004: FONTANA A., MOZZI P. & BONDESAN A. (2004) - *L'evoluzione geomorfologica della pianura veneto-friulana*. In: BONDESAN A. & MENEGHEL M. (a cura di) - *Geomorfologia della provincia di Venezia*. Esedra, Padova, 113-138.
- FONTANA A. et al., 2006: FONTANA A., BIVI G., COLLOVINI D. & DRIGO E. (2006) - *Percorsi d'Arte, Storia ed Ambiente del comunedì San Michele al Tagliamento. Con schede descrittive dei siti, 1 CD rom e 1 mappa*. Tipografia Saggittario, San Michele al Tagliamento - Bibione, 120 pp.
- FONTANA A. et al., 2008: FONTANA A., MOZZI P. & BONDESAN A. (2008) - *Alluvial megafans in the Venetian-Friulian Plain (North-eastern Italy): evidence of aggrading and erosive phases during Late Pleistocene and Holocene*. Quaternary International, 189, 71-90.
- FONTANA A. et al., 2010: FONTANA A., MOZZI P. & BONDESAN A. (2010) - *Late Pleistocene evolution of the Venetian-Friulian Plain*. Rendiconti Lincei, Volume 21, Supplement 1, 181-196.
- FONTANA A. et al., 2012: FONTANA A., BONDESAN A., MENEGHEL M., TOFFOLETTO F., VITTURI A. & BASSAN V. (a cura di) - *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000. 107, Portogruaro*. ISPRA - Regione del Veneto, Roma, 2 fogli, 186 pp.
- FONTES J.CH. & BORTOLAMI G. 1973 - *Subsidence of the Venice area during the past 40.000 yr*. Nature, 244 (5415), 339-341.
- FONTOLAN G. et al., 2001: FONTOLAN G., BEZZI A., PILLON S. & RACCA R. (2001) - *Programma di Previsione e Prevenzione in materia di protezione civile. Rischio da Mareggiata*. Provincia di Venezia, Unità Operativa Difesa del Suolo e Protezione Civile, Trieste: 92 pp.
- FONTOLAN G. et al., 2002: FONTOLAN G., BEZZI A., PILLON S. & ZAMPIERI C. (2002) - *Vulnerabilità costiera, dune e fruizione turistica: conflitti e compatibilità lungo il litorale di Rosolina*. Valutazione Ambientale, 2, 5-10.
- FONTOLAN G. et al., 2005: FONTOLAN G., BEZZI A., PILLON S., SCHIOZZI L. & DELLI QUADRI F. (2005) - *Programma di previsione e prevenzione in materia di Protezione Civile, Rischio da Mareggiata. Aggiornamento*. Provincia di Venezia, Settore Tutela e Valorizzazione del Territorio, Ufficio Protezione Civile: 109 pp.
- FONTOLAN G. et al., 2006: FONTOLAN G., BEZZI A., PILLON S., VITTURI A. & BASSAN V. (2006) - *A geodatabase for coastal vulnerability assessment, Venice Province, Italy*. In *Proceedings 5th European Congress on Regional Geoscientific Cartography and Information Systems*. Barcelona (Spain) 13-16 June 2006, vol. 1, 546-548.
- FONTOLAN G. et al., 2007a: FONTOLAN G., BEZZI A., PILLON S., DELLI QUADRI F., VITTURI A. & BASSAN V. (2007a) - *A GIS-based multi-elemental procedure for coastal vulnerability and storm-risk assessment, Venice Province, Italy*. In *Convegno Nazionale GeolItalia 2007*. Rimini 12-14.09.2007, Epitome, vol. 2, 349.
- FONTOLAN G. et al., (2007b: FONTOLAN G., PILLON S., BEZZI A., DELLI QUADRI F. & BURLA I. (2007b) - *Coastal vulnerability assessment: the Grado and Marano barrier islands*. In *Convegno Nazionale GeolItalia 2007*. Rimini 12-14.09.2007, Epitome, vol. 2, 37.
- FOZZATI (2006) - *Un decennio di scavi nel centro storico di Mestre*. In: COLAUTTI C. & ARDIZZON V. (a cura di) - *Mestre archeologica. Tracce di identità del sottosuolo*. Atti del Convegno al Centro culturale Candiani. 12.05.2005, 29-42.
- FOZZATI (2007) - *L'archeologia*. In: DISTEFANO G. - *Atlante storico di Venezia*. Supernova, Venezia, 839-856 pp.
- FOZZATI L. & TONIOLO A. (2001) - *Caorle*. In: *Concordia Saggittaria. Tremila anni di storia*. Esedra, Padova, 83-88.
- FRACCARO P. (1956) - *La centuriazione romana dell'agro di Altino*. In: Atti del Convegno per il *Retroterra veneziano*, Venezia 1955, 61-80 = Opuscula. III1, Pavia (1957).
- FRACASSO S. et al., 2002: FRACASSO S., ROSETTI P., VIANELLO G. & VITTURI A. (2002) - *Modello integrato di monitoraggio su differenti realtà territoriali collegate ad un sistema informativo geografico*. FrancoAngeli Ed., Milano.
- FRANCESCHETTI G. (a cura di) (1990) - *Indagine sui tipi prevalenti di paesaggio agrario del veneziano*. Bimestrale "Provincia di Venezia", 4-6/1990.
- FRANCOVICH R. & VALENTI M. (1999) - *La carta archeologica della Provincia di Siena, Ricerca, sperimentazione ed uso delle tecnologie per lo sviluppo dell'indagine territoriale*. In: AMENDOLA B. (a cura di) - *Carta archeologica e pianificazione territoriale. Un problema politico e metodologico*. Primo incontro di studi, marzo 1997, Fratelli Palombi, Roma, 170-184.
- FRANCOVICH R. & MANACORDA D. (a cura di) (2000) - *Dizionario di archeologia*. Roma-Bari, Laterza, 366 pp.
- FRANCOVICH R. et al., 2001: FRANCOVICH R., PELLICANO' A. & PASQUINUCCI M. (a cura di) (2001) - *La carta archeologica fra ricerca e pianificazione territoriale*. In: Atti del Seminario di Studi organizzato dalla Regione Toscana, Dipartimento delle Politiche Formative e dei Beni Culturali, All'Insegna del Giglio, Firenze, 27-32.
- FRANCOVICH R. & VALENTI M. (2001) - *Cartografia archeologica, indagini sul campo ed informatizzazione. Il contributo senese alla conoscenza ed alla gestione della risorsa culturale del territorio*. In: FRANCOVICH R., PELLICANO' A. & PASQUINUCCI M. (a cura di) - *La carta archeologica fra ricerca e pianificazione territoriale*. In: Atti del Seminario di Studi organizzato dalla Regione Toscana. Dipartimento delle Politiche Formative e dei Beni Culturali, All'Insegna del Giglio, Firenze, 83-116.
- FREGONI M. et al., 1988: FREGONI M., BAVARESCO L., GAIATTO R. & VITTURI A. (1988) - *Carta nutrizionale e tematico-vocazionale della zona a D.O.C. di Lison-Pramaggiore nei territori provinciali di Venezia, Pordenone e Treviso*. Amministrazione della Provincia di Venezia, pp. 117 + 5 all.
- FURLANETTO P. (1984) - *Le testimonianze archeologiche. "Schede"*. In: *Le divisioni romane nel territorio patavino. Testimonianze archeologiche*. Catalogo della mostra, Padova, ottobre 1984, MP Edizioni, Riese Pio X, 38-45.
- FURLANETTO P. (1985) - *Tracce di centuriazione e documentazione archeologica nel territorio di Montebelluna*. In: MANESSI P. (a cura di) - *Divisioni agrarie di epoca romana nel territorio di Montebelluna. Testimonianze archeologiche*, Tipografia G. Faggionato, Montebelluna, 15-20.
- FURLANETTO P. (1994) - *Dai paleoveneti all'età romana*. In: CANIATO G. (a cura di) - *Narvesa all'alba del secondo millennio*. Cierre Edizioni, Sommacampagna di Verona, 25-37.
- FURLANETTO P. (1998) - *Silis ex montibus tarvisanis*. In: BONDESAN A., CANIATO G., VALLERANI F. & ZANETTI M. (a cura di) - *Il Sile*. Cierre Edizioni, Sommacampagna di Verona, 66-85.
- FURLANETTO P. (2000) - *Popoli e civiltà antiche del Piave*. In: BONDESAN A., CANIATO G., VALLERANI F. & ZANETTI M. (a cura di) - *Il Piave*. Cierre Edizioni, Sommacampagna di Verona, 175-192.
- FURLANETTO P. (2004a) - *L'archeologia*. In: BONDESAN A. & MENEGHEL M. (a cura di) - *Geomorfologia della provincia*

- di Venezia. Note illustrative della carta geomorfologica della provincia di Venezia. Esedra, Padova, 84-97.
- FURLANETTO P. (2004b) - *Il popolamento pre-romano e romano nel territorio della provincia di Venezia*. In: BONDESAN A. & MENEGHEL M. (a cura di) - *Geomorfologia della provincia di Venezia*. Esedra, Padova, 178-192.
- FURLANETTO P., (2004 c) - *Il popolamento e le direttrici fluviali nell'area tra Piave e Sile in epoca antica*. In: BONDESAN A. & MENEGHEL M. (a cura di) - *Geomorfologia della provincia di Venezia*. Esedra, Padova, 246-254.
- FURLANETTO P. (2004 d) - *Le direttrici fluviali e lagunari dell'area centro-sud in epoca antica: una proposta di lettura geoarcheologica*, in BONDESAN A. & MENEGHEL M. (a cura di) - *Geomorfologia della provincia di Venezia. Note illustrative della carta geomorfologica della provincia di Venezia*. Esedra, Padova, 284-297.
- FURLANETTO P. (2004e) - *Le direttrici fluviali dall'età del Bronzo all'età romana*. In: BONDESAN A. & MENEGHEL M. (a cura di) - *Geomorfologia della provincia di Venezia*. Esedra, Padova, 352 - 355.
- FURLANETTO P. (2004f) - *La centuriazione e la documentazione archeologica*. In: BONDESAN A. & MENEGHEL M. (a cura di) - *Geomorfologia della provincia di Venezia*. Esedra, Padova, pp. 305-306.
- FURLANETTO P. (2004g) - *Appendice 2. I siti archeologici della Provincia di Venezia*. In: BONDESAN A. & MENEGHEL M., (a cura di) (2004) - *Geomorfologia della provincia di Venezia. Note illustrative della carta geomorfologica della provincia di Venezia*, Esedra, Padova, 435-454.
- FURLANETTO P. (2006) - *Dalla conquista romana al "diluvio"*. In: BIANCO F., BONDESAN A., PARONUZZI P., ZANETTI M & ZANFERRARI A. (a cura di) - *Il Tagliamento*. Cierre edizioni, Sommacampagna di Verona, 302-312.
- FURLANETTO P. (2008a) - *L'archeologia*. In: BONDESAN A., PRIMON S., BASSAN V. & VITTURI A. - *Le unità geologiche della provincia di Venezia*. Cierre Edizioni, Sommacampagna di Verona, 44-45.
- FURLANETTO P. (2008b) - *Centuriazione di Adria*. In: BONDESAN A. & LEVORATO C. (a cura di) - *I geositi della provincia di Venezia*. Erredici, Sarameola di Rubano, 135-138.
- FURLANETTO P. & RIGONI M. (1987) - *Il territorio vicentino*. In: CAVALIERI MANASSE G. (a cura di) - *Il Veneto nell'età romana. Note di urbanistica e di archeologia del territorio*. II, Verona, 135-146.
- FURLANETTO P. & PRIMON S. (2004) - *La cartografia storica*. In: BONDESAN A. & MENEGHEL M. (a cura di) - *Geomorfologia della provincia di Venezia*. Esedra, Padova, 73-77.
- FURLANETTO P. et al., 2004: FURLANETTO P., BONDESAN A., ROSSELLI R., PACQUOLA S. & RASADOR A. (2004) - *Progetto Imago: La banca dati della cartografia storica della laguna di Venezia realizzata dal Magistrato alle Acque*. "Atti 8ª Conferenza Nazionale ASITA", 14÷17 dicembre, Roma, 1005-1110.
- FURLANETTO P. et al., 2009: FURLANETTO P., BONDESAN A., LEVORATO C., ROSSELLI R. & BERTANI B. (2009) - *Progetto Imago: La ricostruzione della laguna e dell'entroterra veneziano attraverso l'impiego della cartografia storica*. Atti 13ª Conferenza Nazionale ASITA, 1÷4.12.2009, Fiera del Levante, Bari, Poster.
- GALADINI F. et al., 2005: GALADINI F., POLI M.E. & ZANFERRARI A. (2005) - *Seismogenic sources potentially responsible for earthquakes with $M > 6$ in the eastern Southern Alps (Thiene - Udine sector, NE Italy)*. Geophysical Journal International, 161:762-739.
- GALASSI P. & MAROCCO R. (1999) - *Relative sea-level rise, sediment accumulation and subsidence in the Caorle Lagoon (Northern Adriatic Sea, Italy) during the Holocene*. Il Quaternario, 12 (2), 249-256.
- GALGARO A. et al., 2000: GALGARO A., FINZI E. & TOSI L. (2000) - *An experiment on a sand-dune environment in Southern Venetian coast based on GPR, VES and documentary evidence*. Annals of Geophysics, 43(2), 289-295.
- GALIAZZO V. (a cura di) (2002) - *Via Claudia Augusta. Un'arteria alle origini dell'Europa: ipotesi, problemi, prospettiva*. Comune di Feltre. Regione del Veneto. Aurelia Edizioni, Treviso, 484 pp.
- GANDOLFI G. et al., 1991: GANDOLFI G., ZERUNIAN S., TORRICELLI P. & MARCONATO A. (1991) - *I pesci delle acque interne italiane*. Ist. Poligrafico e Zecca dello Stato, Roma.
- GAMBACURTA G. (1992) - *Altino, area a nord del Museo, lettura della sezione relativa alla porta urbana*. Quaderni di Archeologia del Veneto, VIII, 70-78.
- GAMBACURTA G. (1996) - *Altino. Le Necropoli*. In: *Protostoria Sile Tagliamento*. 47-70.
- GAMBACURTA G. (2011) - *Altino preromana (VIII-IV secolo a.C.)*. In: TIRELLI M. (a cura di) - *Altino Antica. Dai veneti a Venezia*. Marsilio, Venezia, 55-61.
- GAMBOLATI G. et al., 2005: GAMBOLATI G., PUTTI M., TEATINI P., CAMPORESE M., FERRARIS S., GASPARETTO-STORI G., NICOLETTI V., RIZZETTO F., SILVESTRI S. & TOSI L. (2005) - *Peatland oxidation enhances subsidence in the Venice watershed*. EOS-Transactions American Geophysical Union, 23(86) 217-224.
- GAMBOLATI G. et al., 2006: GAMBOLATI G., PUTTI M., TEATINI P., GASPARETTO-STORI G. (2006) - *Subsidence due to peat oxidation and impacts on drainage infrastructures in a farmland catchment south of the Venice Lagoon*. Environmental Geology, 49(6): 814-820.
- GASPERI G. (1997) - *Structural map of the Po Plain and surrounding chains (1:2.000.000)*. In: MURST, *Carta Geomorfologica della Pianura Padana, scala 1:250.000*. MURST - S.El.Ca, Firenze, 3 fogli.
- GATTACCECA J.C. et al., 2009: GATTACCECA J.C., VALLET-COULOMB C., MAYER A., CLAUDE C., RADAKOVITCH O., CONCHETTO E. & HAMELIN B. (2009) - *Isotopic and geochemical characterization of salinization in the shallow aquifers of a reclaimed subsiding zone: the southern Venice Lagoon coastland*. Journal of Hydrology 378 (1-2), 46-61.
- GATTI S. & MOSCHETTI E. (1999) - *Carta archeologica e pianificazione territoriale: il caso di Guidonia*. In: AMENDOLA B. (a cura di) *Carta archeologica e pianificazione territoriale. Un problema politico e metodologico*. Primo incontro di studi, marzo 1997, Fratelli Palombi, Roma, 63-68.
- GATTO P. (1980) - *Il sottosuolo del litorale veneziano*. CNR ISDGM, Rapporto Tecnico 108, Venezia.
- GATTO P. (1984) - *Il cordone litoraneo della laguna di Venezia e le cause del suo degrado*. Istituto Veneto di Scienze, Lettere e Arti, Rapporti e Studi, IX, 163-193.
- GATTO P. & PREVIATELLO P. (1974) - *Significato stratigrafico, comportamento meccanico e distribuzione nella Laguna di Venezia di un'argilla sovraconsolidata nota come "Caranto"*. CNR - Lab. Stud. Grandi Masse, Rapporto Tecnico 70, Venezia, 45 pp.
- GATTOLIN M. et al., 2011: GATTOLIN M., BASSAN V. BONATO L., EULISSE E., ABORDI M., FERIALDI A., PATTARO A. & STEVANIN M. (a cura di) - *I piani comunali delle acque. Strumenti di sicurezza idraulica e opportunità per la rigenerazione del territorio*. Provincia di Venezia e Civiltà dell'Acqua.
- GATTOLIN M. & FASTELLI C., (2011) - *Rischio idraulico e prevenzione in provincia di Venezia*. In: GATTOLIN M., BASSAN V. BONATO L., EULISSE E., ABORDI M., FERIALDI A., PATTARO A. & STEVANIN M. (a cura di) - *I piani comunali delle acque. Strumenti di sicurezza idraulica e opportunità per la rigenerazione del territorio*. Provincia di Venezia e Civiltà dell'Acqua.
- GELICHI S. (a cura di) (2001) - *Dalla carta del rischio archeologico di Cesena alla tutela preventiva in Europa*. In:

- Atti del Convegno di Studi (Cesena 1999), All'Insegna del Giglio, Firenze, 112 pp.
- GELICHI S. *et al.* (1999) - GELICHI S., ALBERTI A. & LIBRENTI M. (eds.) (1999) - *Cesena: la memoria del passato. Archeologia urbana e valutazione dei depositi*. Firenze, All'Insegna del Giglio, 106 pp.
- GELICHI S. *et al.*, 1987: GELICHI S., MALNATI L. & ORTALLI J. (1987) - *L'Emilia centro-occidentale tra la tarda età imperiale e l'alto medioevo, in società romana e impero tardo antico*. III, Le merci, gli insediamenti, Bari, Laterza, 543-646.
- GERHARDINGER M.E. (1981) - *Presenze protostoriche nel territorio compreso tra Brenta e Livenza*. Padusa, XVII, 59-80.
- GERHARDINGER M.E. (1991) - *Reperti paleoveneti del museo civico di Treviso*. Giorgio Bretschneider editore, Roma, 126 pp.
- GHEDINI F. & BUSANA M.S. (a cura di) (2003) - *Indagine ambientale e storico-archeologica nella tenuta di Ca' Tron (Roncade-TV/Meolo-VE)*. Quaderni di Archeologia del Veneto, XVIII, 36-46.
- GHEDINI *et al.*, 2002: GHEDINI F., BONDESAN A. & BUSANA M.S. (a cura di) (2002) - *La tenuta di Ca' Tron. Ambiente e storia nella terra dei Dogi*. Cierre Edizioni, Sommacampagna di Verona, 210 pp.
- GIARDINI L. *et al.*, 1989: GIARDINI L., GIUPPONI C. & GIUPPONI A. (1989) - *Studio agronomico del territorio provinciale di Venezia, parte meridionale*. Provincia di Venezia.
- GIORDANO A. (1999) - *Pedologia*. UTET, Torino.
- GIOTTO V. (2011) - *La carta archeologica*. In: GORINI G. (a cura di) - *Alle foci del Medoacus Minor*. Padova, 13-54.
- GISOTTI G. (2011) - *Le Unità di Paesaggio. Analisi geomorfologica per la pianificazione territoriale e urbanistica*, Dario Flaccovio Editore, Palermo.
- GONFIANTINI R. *et al.*, 1995: GONFIANTINI R., STICHLER W. & ROZANSKI K. (1995) - *Standards and intercomparison materials distributed by the International Atomic Energy Agency for stable isotope measurements*. Reference and Intercomparison Material of Stable Isotopes of Light Elements. IAEA-TECDOC-825, Vienna, 13-29.
- GORDINI E. *et al.*, 2002: GORDINI E., MAROCCO R. & VIO E. (2002) - *Subsurface stratigraphy of "Trezza Grande" bank (Gulf of Trieste, Northern Adriatic Sea)*. Gortania, Atti Museo Friulano Storia Naturale, 24, 31-63.
- GORINI G. (a cura di) (2011) - *Alle foci del Medoacus Minor*. Padova.
- GORNITZ V.M. *et al.*, 1994: GORNITZ V.M., DANIELS R.C., WHITE T.W. & BIRDWELL K.R. (1994) - *The development of a coastal risk assessment database: vulnerability to sea-level rise in the U.S. Southeast*. In: (Finkl C.W. Ed.) *Coastal hazards: perception, susceptibility and mitigation*. Journal of Coastal Research, S. I. 12, 327-338.
- GUARNIERI C. (1998) - *C.A.R.T. a Faenza*. In: GUERMANDI M.P. (a cura di) - *C.A.R.T. Carta Archeologica del Rischio Territoriale*. IBC Informazioni Commenti, Inchieste sui beni culturali, 6 (3), 64-67.
- GUARNIERI C. (1999) - *La carta del rischio archeologico di Faenza (RA): dal progetto alla realizzazione*. In: AMENDOLA B. (a cura di) - *Carta Archeologica e pianificazione territoriale. Un problema politico e metodologico*. Primo incontro di studi, Roma, 153-158.
- GUARNIERI C. (a cura di) (2000) - *Progettare il passato. Faenza tra pianificazione urbana e Carta archeologica*. Quaderni di Archeologia dell'Emilia Romagna, III. All'Insegna del Giglio, Firenze, 308.
- GUARNIERI C. (2001) - *Pianificazione urbana e carta archeologica: il caso di Faenza*. In: GUERMANDI M.P. (a cura di), *Rischio Archeologico: se lo conosci lo eviti*. Atti del convegno di studi su *Cartografia archeologica e tutela del territorio*, Ferrara, 24÷25.03.2000. All'Insegna del Giglio, Firenze, 215-224.
- GUERMANDI M.P. (1999) - *Tutela del patrimonio archeologico e G.I.S.: l'elaborazione di una Cartografia Archeologica finalizzata ai problemi di pianificazione territoriale della Regione Emilia Romagna*. In: AMENDOLA B. (a cura di) - *Carta archeologica e pianificazione territoriale. Un problema politico e metodologico*. Incontro di studi, Roma marzo 1997, Fratelli Palombi, 142-145.
- GUERMANDI M.P. (a cura di) (2001) - *Rischio Archeologico: se lo conosci lo eviti*. In: Atti del convegno di studi su *Cartografia archeologica e tutela del territorio*. (Ferrara, 24÷25.03.2000). All'Insegna del Giglio, Firenze.
- GURNELL A.M. *et al.*, 2001: PETTS G. E., HANNAH D., EDWARDS P., KOLLMANN J., WARD J. & TOCKNER K. (2001) - *Riparian vegetation and island formation along the gravel-bed fiume Tagliamento, Italy*. Earth Surf. Process. Landforms 26, 31-62.
- GUZZETTI F. *et al.*, 1997: GUZZETTI F., MARCHETTI M. & REICHENBACH P. (1997) - *Large alluvial fans in the north-central Po Plain (Northern Italy)*. Geomorphology, 18, 119-136.
- HALLERMEIER R. J. (1978) - *Uses for a calculated limit depth to beach erosion*. In: *Proceedings of the XVI Conference of Coastal Engineering*. 27.08÷3.09.1978, Hamburg, Germany, Vol. II, 1493-1510.
- HALLERMEIER R. J. (1981) - *A profile zonation for seasonal sand beaches from wave climate*. Coastal Engineering, 4 (3), 253-277.
- HESP P.A., (1988) - *Morphology, dynamics and internal stratification of some established foredunes in southeast Australia*. Sedimentary Geology, 55: 17-41.
- KENT D.V. *et al.*, 2002: KENT D.V., RIO D., MASSARI F., KUKLA G. & LANCI L. (2002) - *Emergence of Venice during the Pleistocene*. Quaternary Science Reviews, 21, 1719-1727.
- KLINGEBIEL A.A. & MONTGOMERY P.H. (1961) - *Land capability classification*. Agricultural Handbook, 210, Washington DC.
- KLUTE A. (1986) - *Water retention: laboratory methods*. In: KLUTE A. ED. - *Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods*. American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Madison, WI, pp. 635-686.
- KLUTE A. & DIRKSEN C. (1986) - *Hydraulic conductivity and diffusivity: laboratory methods*. In: KLUTE A. ED., *Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods*. American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Madison, WI, pp. 687-734.
- ILICETO V. (1992) - *Indagine sulle possibilità di rischio idraulico nella provincia di Venezia*. Provincia di Venezia, pp. 48 + 3 all.
- ILICETO V. & BOAGA J. (2005) - *Deterministic earthquake scenarios and site effects estimation for S. Michele al Tagliamento (VE) - Italy*. Proc. of the 5th Forum Nazionale di Scienze della Terra, Geo-Italia 2005, 20÷23.09.2005, Spoleto.
- ILICETO V. & BOAGA J. (2005) - *Influenza delle geostrutture nella valutazione degli effetti sismici di sito: il caso della Val d'Adige*. Atti del Workshop di Geofisica: *La Geofisica a servizio dell'ambiente e dei beni culturali, con attenzione alle problematiche in ambito montano*, Rovereto (TN), 9.12.2005.
- ILICETO V. & BOAGA J. (2006) - *Il rumore sismico in ambiente lagunare, risposta sismica locale del sottosuolo ed edifici storici*. Atti convegno *Geologia Urbana di Venezia*. Venezia 24.11.2006.

- ILICETO V. *et al.*, 2002: ILICETO V., PERUZZA L., ROVELLI A. & SLEJKO D. (2002) - *La difesa dai terremoti mediante zonazione sismica: sinergie fra Protezione Civile e Piani Regolatori*. *Geologia Tecnica & Ambientale* 3, 15-36.
- ISTAT (2000) - *Annuario Statistico della Provincia di Venezia, Edizione 2000*. In collaborazione con COSES e Provincia di Venezia. CD-Rom.
- JARVIS N.J. (1994) - *The MACRO model (version 4.3). Technical description*. <ftp://www.mv.slu.se/macro/doc/macro43.doc>.
- JELGERSMA S. *et al.*, 1993: JELGERSMA S., VAN DER ZIJP M. & BRINKMAN R. (1993) - *Sea level rise and the coastal lowlands in the developing world*. *Journal of Coastal Research*, 9 (4), 958-972.
- LACHIN M.T. (2009) - *Una storia della terra. Leggere il paesaggio agrario a nord-est di Padova*. In: *Agri centuriati*, 6, 39-52.
- LAMBECK K. & CHAPPEL J. (2001) - *Sea level change through the last glacial cycle*. *Science*, 292, 679-686.
- LAMBECK K. *et al.*, 2004: LAMBECK K., ANTONIOLI F., PURCELL A. & SILENZI S. (2004) - *Sea level change along the Italian coast for the past 10,000 yrs*. *Quaternary Science Reviews*, 23, 1567-1598.
- LAUDATO M. & MARCASSA P. (1999) - *Un intervento di prospezione e recupero archeologico nella valle di Ca' Zane - Laguna nord di Venezia*. In: *Archeologia delle Acque*, semestrale di antropologia, archeologia, etnografia, storia dell'acqua, anno I, 1, 75-82.
- LEI (2000) - *Lessico etimologico italiano, edito per incarico della Commissione per la filologia romanza da Max Pfister*, VII, Wiesbaden 2000.
- LEIRER A.L. *et al.*, 2005: LEIRER A.L., DE CELLES P.G. & PELLETIER J.D. (2005) - *Mountains, monsoons, and megafans*. *Geology*, 33, 289-292.
- LEONARDI G. (1992a) - *Assunzione e analisi dei dati territoriali in funzione della valutazione della diacronia e delle modalità del popolamento*. In: BERNARDI M. (a cura di) - *Archeologia del paesaggio*. I, Firenze, 25-66.
- LEONARDI G. (1992b) - *Il contesto fluviale di deposizione dei reperti*. In: BAGGIO P., BELLINATI C., BORDIN B., DALLA CORTE M., GALEAZZO L., GONZATO R., LEONARDI G., SIGALOTTI G.B., STOCCO R., ZAGHETTO L. & ZAMBONI C. - *Padova nord-est. Archeologia e territorio*. Editoriale Programma, Padova, 148-163.
- LEONARDI G. *et al.*, 1984 - LEONARDI G., CALZAVARA CAPUIS L. & DE GUIO A. (1984) - *Il popolamento in epoca protostorica*. In: *Misurare la terra: centuriazione e coloni nel mondo romano: il caso veneto*. Edizioni Panini, Modena, 38-51.
- LESER H. (1976) - *Landschaftöcologie*, Verlag, Stuttgart.
- LORITO S. *et al.*, 2002: LORITO S., VITTURI A. & ZANGHERI P. (2002) - *Carta dell'attitudine dei suoli allo spargimento dei liquami zootecnici: l'applicazione della metodica regionale nella provincia di Venezia*. In: *Modello integrato di monitoraggio su differenti realtà territoriali collegate ad un sistema informativo geografico*. FrancoAngeli Ed., Milano.
- LOVISON-GOLOB L. (2011) - *Use Cases for GEOSS and Historical Cartography*. 25th International Cartographic Conference Proceedings, Paris, France.
- LOVISON-GOLOB L. (2009) - *Issues on Open Data Access and Intellectual Property Rights for Cartographers*. 24th International Cartographic Conference Proceedings, Santiago, Chile.
- LOVISON-GOLOB L. (2009) - *Increasing Access to Historical Cartography through the Web: The Darfur Case*. e-Perimtron, Vol. 4, No. 2, 2009, 140-143.
- Lovison-Golob L. (2006) - *Bringing the Age of Exploration of Africa and its Heritage to the Web*. E-Perimtron, Vol. 1, No. 2, Spring 2006, 170-177.
- LOVISON-GOLOB L. (2005) - *Data Banche Geologiche e GIS: Quali sono le Problematiche?* - Paper on Conference, Venice, Italia.
- LURASCHI G. (1993) - *Aspetti giuridici e storici della fondazione di Novum Comum*. In: *Novum Comum 2050*, 23-52.
- MACCAGNANI M. (1994) - *La via Popilia-Annia*. In: *Opere di Assetto urbano territoriale ed urbano. Atlante Tematico di Topografia Antica*. «L'erma» di Bretschneider, Roma, 70-105.
- MAGISTRATO ALLE ACQUE DI VENEZIA (2003) - *Esecuzione di campagne di misura e rilievi topografici in laguna di Venezia: Riquotatura di 120 caposaldi GPS*. Servizio Informativo, Rapporto Interno.
- MALIPIERO M. (1984) - *Mansiones e mutationes nella Venetia romana*. *Archeologia Veneta*, VII, 261-283.
- MALIZIA A. (1985) - *La raccolta paleontologica del Museo Archeologico di Altino (Venezia)*. *Archeologia Veneta*, VII, 125-148.
- MALNATI L. (2005) - *La verifica preventiva dell'interesse archeologico*. *Aedon. Rivista di Arti e Diritto on line*, 3 (<http://www.aedon.mulino.it>).
- MANNONI *et al.*, 2001 - MANNONI T., BANDINI F. & VALERIANI S. (2001) - *Dall'archeologia globale del territorio alla carta archeologica numerica*. In: FRANCOVICH R., PELLICANO' A. & PASQUINUCCI M. (a cura di) - *La carta archeologica fra ricerca e pianificazione territoriale*. In: *Atti del Seminario di Studi organizzato dalla Regione Toscana, Dipartimento delle Politiche Formative e dei Beni Culturali. All'Insegna del Giglio*, Firenze, 43-48.
- MANZI R. *et al.*, 2004: MANZI R., CASTELLI L., PINTON N., PAVAN L., KRAVOS K. & MOZETIC B. (2004) - *Acque antiche. Il percorso della litoranea veneta (Acque antiche. Potek vodne poti Litoranee Venete / Ancient waters ways. The route of the Venetian coast line) + 1 CD rom*. Mazzanti Editori, 203 pp.
- MAPPA ARCHEOLOGICA (1985) - SOPRINTENDENZA ARCHEOLOGICA DEL VENETO & GRUPPO ARCHEOLOGICO DEL VENETO ORIENTALE (a cura di) - *Gli insediamenti d'epoca romana nell'agro Concordiese*. Rebellato, Torre di Mosto, 155 pp.
- MAPPA ARCHEOLOGICA (2002) - GR.A.V.O. (a cura di) - *Mappa Archeologica. Ricerche di Topografia Archeologica nel Veneto Orientale*. Lit. Villotta e Bergamo, Guarero, 120 pp.
- MARAGNO E. (a cura di) (1993) - *La centuriazione dell'agro di Adria. La mostra archeologica didattica di Villadose. Storia dei rinvenimenti archeologici nell'area centuriata*. *Atti del convegno La centuriazione dell'agro adriese*. Linea AGS, Stanghella, Padova, 352 p.
- MARAGNO E. (a cura di) (2000) - *Quaderni di archeologia del Polesine*. I, Linea AGS, Stanghella, Padova, 374.
- MARCATO L. (1981) - *Ritrovamenti dell'età del Bronzo a Cantarana (Venezia)*. In: *Archeologia Veneta*, IV, 193-194.
- MARCELLO A. & SPADA N. (1968) - *Notizia di una vicenda climatica antica nella laguna di Venezia*. *Memorie di Biogeografia Adriatica*, 7, Suppl., 43-49.
- MARCHETTI M. (1990) - *Cambiamenti idrologici nella Pianura Padana centrale a nord del fiume Po: i casi di "underfit streams" dei fiumi Mincio, Oglio e Adda*. *Geogr. Fis. Dinam. Quat.*, 13, 53-62.
- MARCHETTI M. (2001) - *Forme e depositi fluviali, fluvio-glaciali, lacustri*. In: CASTIGLIONI G.B. & PELLEGRINI G.B. (a cura di) - *Note illustrative della Carta Geomorfologica della Pianura Padana*. *Geogr. Fis. Dinam. Quat.*, suppl. IV, pp. 73-100.
- MARCHETTI M. (2002) - *Environmental changes in the central Po Plain (Northern Italy) due to fluvial modifications and men's activities*. *Geomorphology*, 44, 3-4, 361-373.

- MARCHIORI A. (1986) - *Un tratto di strada romana ai margini occidentali della Laguna di Venezia (area di Malcontenta): da una foto interpretazione il contributo per un'analisi territoriale*. Quaderni di Archeologia del Veneto, II, 140-153.
- MARCOLONGO B. & PRETTO L. (1987) - *Vulnerabilità degli acquiferi nell'alta pianura a Nord di Vicenza*. CNR Padova.
- MARCOLONGO *et al.*, 1978 - MARCOLONGO B., MASCELLANI M. & MATTEOTTI E. (1978) - *Significato storico-ambientale di antiche strutture topografiche sepolte nella pianura veneta*. Archeologia Veneta, I, 147-150.
- MARCONATO A. *et al.*, 1985: MARCONATO A., SALVIATI S., MAIO G. & MARCONATO E. (1985) - *La distribuzione dell'ittiofauna nella provincia di Vicenza*. Provincia di Vicenza, Assessorato alla Pesca: 149 pp.
- MARCONATO E. *et al.*, 2000: MARCONATO E., BUSATTO T., MAIO G. & SALVIATI S. (2000) - *La fauna ittica della provincia di Venezia*. Ed. Provincia di Venezia, Assessorato Caccia, Pesca e Polizia Provinciale, Venezia, 174 pp.
- MARCONATO E. *et al.*, 2004: MARCONATO E., BUSATTO T., MAIO G. & SALVIATI S. (2004) - *La caratterizzazione delle acque di transizione del Delta del Po e dei corsi d'acqua scolanti in laguna di Venezia*. ARPAV Veneto - Osservatorio Acque di Transizione. Atti del Convegno *Progetto Nazionale di Monitoraggio delle Acque*, Firenze 26-27.04.2005.
- MARINETTI A. (2009) - *Da Alto - a Giove: la titolarità del santuario, I, La fase preromana*. In: CRESCI MARRONE G. & TIRELLI M., (a cura di) (2009) - *Altino. Il santuario altinate: Strutture del sacro a confronto e i luoghi di culto lungo la via Annia*. Atti del convegno Venezia 4+6.12.2006. Edizioni Quasar, Roma, 88-127.
- MAROCCO R. (1989) - *Evoluzione quaternaria della Laguna di Marano (Friuli-Venezia Giulia)*. Il Quaternario 2(2), 125-137.
- MAROCCO R. (1991) - *Evoluzione tardopleistocenica-olocene del Delta del F. Tagliamento e delle lagune di Marano e Grado (Golfo di Trieste)*. Il Quaternario 4 (1b), 223-232.
- MARSALE S. (1987) - *Nuovi contributi alla conoscenza del Mesolitico perlagunare (VE)*. Società veneziana Scienze naturali, (12), 217-224
- MARSALE S. (1988) - *Il neolitico di Tessera (Venezia)*. Società veneziana Scienze naturali, (13), 217-224
- MARSALE S. (1990) - *S. Liberale: un ritrovamento di età mesolitica*. Società Veneziana di Storia Naturale (15), 165-172.
- MARSALE S. (1991) - *Note su un ritrovamenti del Mesolitico della gronda lagunare veneziana*. Società Veneziana di Storia Naturale (16), 217-224.
- MARSALE S., (1997) - *Nota preliminare su di un ritrovamento preistorico a Mestre (Provincia di Venezia)*. Società Veneziana di Storia Naturale (22), 217-224.
- MARTINELLI L. *et al.*, 2010: MARTINELLI L., ZANUTTIGH B. & CORBAU C. (2010) - *Assessment of coastal flooding hazard along the Emilia Romagna littoral, IT*. Coastal Engineering, 57, 1042-1058.
- MARTINSON D.G. *et al.*, 1987: MARTINSON D.G., PISIAS N.G., HAYS J.D., IMBRIE J., MOORE T.C. & SHACKLETON N.J. (1987) - *Age dating and the orbital theory of the ice ages: development of a high-resolution 0 to 300,000-year chronostratigraphy*. Quaternary Research 27, 1-29.
- MASSARI F. *et al.*, 2004: MASSARI F., RIO D., SERANDREI BARBERO R., ASIOLI A., CAPRARO L., FORNACIARI E. & VERGERIO P. (2004) - *The environment of Venice area in the past two million years*. Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology, 202, 273-308.
- MASSARI F. (1990) - *The foredeeps of the Northern Adriatic margin: evidence of diachroneity in deformation of the Southern Alps*. Rivista Italiana Paleontologia Stratigrafica, 96, 2-3, 351-380.
- MASSOLI-NOVELLI R. (1996) - *Geotipi e siti minerari*. Geologia dell'Ambiente, Sigea, Roma, 2, 6-9.
- MASSOLI-NOVELLI R. (2001) - *Inventari di geositi in Italia: stato dell'arte*. Geologia dell'Ambiente, 1, SIGEA, Roma, 10-13.
- MASSOLI-NOVELLI R. (2003) - *Geositi, Geoturismo e Sviluppo sostenibile*. Geologia dell'ambiente, Numero speciale 1/2003: Atti del Convegno *La geologia ambientale: strategie per il nuovo millennio*, Sigea, Roma, 167-170.
- MATTEOTTI G. (1962) - *Sulle caratteristiche dell'argilla precompressa esistente nel sottosuolo dei Venezia - Marghera*. Notiziario dell'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Padova, 6, Padova.
- MENEGHEL M. (2004) - *Tra Bacchiglione e Adige*. In: BONDESAN A. & MENEGHEL M., (a cura di) (2004) - *Geomorfologia della provincia di Venezia. Note illustrative della carta geomorfologica della provincia di Venezia*. Esedra, Padova, 298-304.
- MIALI A.D. 1996 - *The geology of fluvial deposits: sedimentary facies, basin analysis and petroleum geology*. Springer, 582 pp.
- MIOA A. & VALENTINI G. (2004) - *La via Annia a Ca' Tron: il contributo dell'analisi palinologica*. In: BUSANA M.S. & GHEDINI F. (a cura di) - *La Via Annia e le sue infrastrutture*. Atti delle Giornate di Studio Ca' Tron di Roncade, Treviso 6+7.11.2003, Antiga Edizioni, Cornuda (TV), 147-162.
- MIOA A. *et al.*, 2003: MIOA A., ALBANESE D., VALENTINI G., CORAIN L. (2003) - *Pollen data for a biostratigraphy of LGM in the Venetian Po Plain*. Il Quaternario, 16, 21-25.
- MIOA A. *et al.*, 2006: MIOA A., BONDESAN A., CORAIN L., FAVARETTO S., MOZZI P., PIOVAN S. & SOSTIZZO I. (2006) - *Wetlands in the Venetian Po Plain (north-eastern Italy) during the Last Glacial Maximum: vegetation, hydrology, sedimentary environments*. Review of Paleobotany and Palynology, 141, 53-81.
- MARZEMIN G. (1937) - *Le origini romane di Venezia*. Fantoni & C., Venezia, 430 pp.
- MAZZARINO S. (1976) - *Il concetto storico-geografico dell'unità veneta*. In: *Storia della cultura veneta. Le origini*. I, 1, *Dalle origini al trecento*, Neri Pozza, Vicenza, 1-28.
- MAZZOLA M. (2003) - *Idrogeologia e carta freaticometrica della provincia di Treviso*. Provincia di Treviso - Assessorato alle Politiche per l'Ambiente.
- MENGOTTI C. (1984a) - *Padova nord-est (Camposampiero)*. In: *Misurare la terra: Centuriazione e coloni nel mondo romano. Il caso veneto*. Panini, Modena, 159-166.
- MENGOTTI C. (1984b) - *Altino*. In: *Misurare la terra: Centuriazione e coloni nel mondo romano. Il caso veneto*. Panini, Modena, 167-171.
- MICHELIELI A.A. (1924) - *Il Sile di Plinio e la soluzione di un vecchio problema*. Annali Istituto Tecnico J.Riccati, Treviso, 36-40.
- MICHELIELI A.A. (1938) - *Storia di Treviso*, Firenze, 1938.
- MILANESE M. (2001) - *La carta archeologica della provincia di Pistoia. Siti censiti e siti previsti, tra inventario, ricognizione e rischio archeologico*. In: FRANCOVICH R., PELLICANO' A. & PASQUINUCCI M. (a cura di) - *La carta archeologica fra ricerca e pianificazione territoriale*. In: Atti del Seminario di Studi organizzato dalla Regione Toscana, Dip. delle Politiche Formative e dei Beni Culturali, All'Insegna del Giglio, Firenze, 27-32.
- MINUZZO L. *et al.* (1987): MINUZZO L., FINZI R. & FRIGO M. - *Carta geologica della provincia di Venezia*. Scala 1:50.000. Provincia di Venezia.

- MODENA P. *et al.*, 1997: MODENA P., ZANGHERI P., BASSO B., MALESANI P., PIANTAVIGNA M. & TESSARI M. (1997) - *Qualità ambientale, pressione antropica e gestione del territorio: il caso di un comune della Provincia di Verona*. Atti VIII° convegno della S.I.T.E. Soc. It. di Ecologia, Parma, 10÷12.09.1997.
- MODENA P. *et al.*, 2006: MODENA P., ZANGHERI P. & BASSO B. (2006) - *Censimento, catalogazione e studio idrogeologico e naturalistico delle risorgive della Provincia di Padova*. A.A.T.O. Bacchiglione - Provincia di Padova.
- MODENA P. *et al.*, 2007: MODENA P., ZANGHERI P. & BASSO B. (2007) - *Censimento, catalogazione e studio idrogeologico e naturalistico delle risorgive della Provincia di Treviso*. Provincia di Treviso.
- MODREZWSKA PIANETTI I. (2000) - *Sulla storia della laguna di Venezia nell'antichità*. Swiatovit, Supplemento Series Antiquity, IV, Varsavia, 118 pp.
- MONEGATO G., (2007) - *Le successioni continentali conglomeratiche messiniano-pleistoceniche nel bacino del Fiume Tagliamento*. Unpublished Ph.D. Thesis, Università di Padova.
- MONEGATO G. *et al.*, 2007: MONEGATO G., RAVAZZI C., DONEGANA M., PINI R., CALDERONI G. & WICK L. (2007) - *Evidence of a two-fold glacial advance during the last glacial maximum in the Tagliamento end moraine system (eastern Alps)*. Quaternary Research, 68, 284-302.
- MORANDINI G., (1960) - *Elementi geografici ed aspetti morfologici della laguna*. Istituto Veneto di Scienze, Lettere ed Arti, Commissione di Studio dei Provvedimenti Presi per la Conservazione e Difesa della Laguna e della Città di Venezia, Officine Grafiche C. Ferrari, Venezia, 14÷15.06.1960, 18 pp.
- MOSETTI F. (1983) - *Sintesi sull'idrologia del Friuli Venezia Giulia*. Ente Tutela Pesca del Friuli Venezia Giulia. Laboratorio di idrobiologia. Tip. Pellegrini, Udine - Quad. 6. Udine.
- MOZZI G. *et al.*, 1975: MOZZI G., BENINI G., CARBOGNIN L., GATTO P. & MASUTTI M. (1975) - *Situazione idrogeologica nel sottosuolo di Venezia*. CNR ISDGM, Rapporto Tecnico 66. Venezia.
- MOZZI P. (1995) - *Evoluzione geomorfologica della pianura veneta centrale*. Tesi di dottorato inedita, Università di Padova, Dipartimento di Geografia.
- MOZZI P. (1998) - *Nascita e trasformazione della pianura del Sile*. In: BONDESAN A. *et al.* (a cura di) - *Il Sile*. Cierre edizioni, Sommacampagna di Verona, 40-51.
- MOZZI P. (2004a) - *Tra Sile e Naviglio Brenta*. In: BONDESAN A. & MENEGHEL M. (a cura di) - *Geomorfologia della provincia di Venezia*. Esedra, Padova, 255-265.
- MOZZI P. (2004b) - *Il caranto nel sottosuolo della laguna di Venezia*. In: BONDESAN A. & MENEGHEL M. (a cura di) - *Geomorfologia della provincia di Venezia*. Esedra, Padova, 342-346.
- MOZZI P. (2005) - *Alluvial plain formation during the Late Quaternary between the southern Alpine margin and the Lagoon of Venice (northern Italy)*. Suppl. Geogr. Fis. Dinam. Quat., suppl. 7, 219-230.
- MOZZI P. (2008) - *Unità di Dolo*. In: BONDESAN *et al.* (a cura di) - *Le unità geologiche della provincia di Venezia*. Cierre Edizioni, Sommacampagna di Verona, 120.
- MOZZI P. & BONDESAN A. (2002) - *Lo studio del sottosuolo: trivellate, carotaggi e datazioni assolute*. In: GHEDINI F., BONDESAN A. & BUSANA M.S. - *La tenuta di Ca' Tron. Ambiente e Storia nella terra dei Dogi*. Cierre Edizioni, Sommacampagna di Verona, 30-33.
- MOZZI P. & FURLANETTO P. (2004) - *Tra Naviglio Brenta e Bacchiglione*. In: BONDESAN A. & MENEGHEL M. (a cura di) - *Geomorfologia della provincia di Venezia. Note illustrative della carta geomorfologica della provincia di Venezia*. Esedra, Padova, 269-283.
- MOZZI P. & NINFO A. (2009) - *La fotografia aerea obliqua per lo studio del territorio della Annia*. In VERONESE F. (a cura di) - *Atti della giornata di Studi Via Annia, progetto di recupero e valorizzazione di un'antica strada romana*, Padova 19.06.2008, 121-142.
- MOZZI P. *et al.*, 2003: MOZZI P., BINI C., ZILOCCHI L., BECATTINI R. & MARIOTTI LIPPI M. (2003) - *Stratigraphy, palaeopedology and palinology of late Pleistocene and Holocene deposits in the landward sector of the lagoon of Venice (Italy), in relation to caranto level*. Il Quaternario 16 (1bis), 193-210.
- MOZZI P. *et al.*, 2011a: MOZZI P., FONTANA F., FERRARESE F. & NINFO A. (2011a) - *Geomorfologia e trasformazione del territorio*. In: TIRELLI M. (a cura di) - *Altino antica. Dai veneti a Venezia*. Marsilio, Venezia, 13-18.
- MOZZI *et al.*, 2011b: MOZZI P., FONTANA F., NINFO A., FERRARESE F. & PRIMON S. (2011b) - *Nuove tecnologie per la ricostruzione della pianta della città: il telerilevamento di Altino*. In: TIRELLI M. (a cura di) - *Altino antica. Dai veneti a Venezia*. Marsilio, Venezia, 199-204.
- MOZZI P. *et al.*, 2011c: MOZZI P., FONTANA A., PIOVAN S. & ABBA' T. (2011) - *Indagini geomorfologiche lungo il tracciato della via Annia*. In VERONESE F. (a cura di) - *Via Annia II. Adria, Padova, Altino, Concordia, Aquileia. Progetto di recupero e valorizzazione di un'antica strada romana*. Atti della II Giornata di Studio, Padova, 17.06.2010, a cura di F. VERONESE, Padova, Il Poligrafo, 71-90.
- MÜLLENDERS W. *et al.*, 1996: MÜLLENDERS W., FAVERO V., COREMANS M. & DIRICKX M. (1996) - *Analyses polliniques des sondages à Venise (VE1, VE1bis, VE2)*. Aardkundige Mededelingen, 7, 87-117.
- MURER D. *et al.*, 2001: MURER D., VITTURI A. & PINI A. (2001) - *L'esperienza della Provincia di Venezia: redazione del Programma di previsione e prevenzione delle calamità e delle varie ipotesi di rischio; Ufficio Tecnico Provinciale di Protezione Civile: sala operativa e gestione emergenza*. Atti del Convegno Dal Programma di previsione e prevenzione delle calamità e delle varie ipotesi di rischio, alla pianificazione, gestione e difesa territoriale. Provincia di Lecco, pp. 112.
- MUSACCHIO E. (1996) - *Priorità da assegnare agli interventi sul rischio idraulico: un contributo per una possibile soluzione*. In: Atti convegno La prevenzione del rischio idraulico in provincia di Venezia, Provincia di Venezia.
- NICOLETTI L. *et al.*, 2006: NICOLETTI L., PAGANELLI D. & GABELLINI M. (2006) - *Aspetti ambientali del dragaggio di sabbie relitte a fini di ripascimento: proposta di un protocollo di monitoraggio*. Quaderno ICRAM n. 5, 159 pp.
- NINFO A. *et al.*, 2011: NINFO A., FONTANA A. & MOZZI P. (2011) - *Il contributo del telerilevamento nello studio della via Annia*. In VERONESE F. (a cura di) - *Via Annia II. Adria, Padova, Altino, Concordia, Aquileia. Progetto di recupero e valorizzazione di un'antica strada romana*. Atti della II Giornata di Studio, Padova, 17.06.2010, a cura di F. VERONESE, Padova, Il Poligrafo, 55-70.
- NINFO A. *et al.*, 2009: NINFO A., FONTANA A., MOZZI P. & FERRARESE F. - *The Map of Altinum, Ancestor of Venice*. Science, CCCXXV, 577-579.
- NORINELLI A. (1986) - *Elementi di geofisica applicata*. Patron Editore, Bologna.
- OGORELEC B. *et al.*, 1981: OGORELEC B., MISIC M., SERCELJ A., CIMERMAN F., FAGANELI J. & STEGOUR P. (1981) - *The sediment of salt marsh of Secovlje*. Geologija, 24, 179-216.
- OGRINC N. *et al.*, 2005: OGRINC N., FONTOLAN G., FAGANELLI J. & COVELLI S. (2005) - *Carbon and nitrogen isotope compositions of organic matter in coastal marine sediments*

- (the Gulf of Trieste, N Adriatic Sea): indicators of sources and preservation. *Marine Chemistry*, 95, 163-181.
- OREL G. *et al.*, 2000: OREL G., BOATTO V., SFRISO A. & PELLIZATO M. (2000) - *Piano per la gestione delle risorse aliquote delle lagune della provincia di Venezia*. Provincia di Venezia, pp. 102 + 5 tavv.
- OROMBELLI G. & RAVAZZI C. (1996) - *The late glacial and early Holocene chronology and paleoclimate*. *Il Quaternario*, 9, 439-444.
- OROMBELLI G. *et al.*, 2005: OROMBELLI G., RAVAZZI C. & CITA M.B. (2005) - *Osservazioni sul significato dei termini LGM (UMG), tardoglaciale e postglaciale in ambito globale, italiano ed alpino*. *Il Quaternario*, 18 (2) 147-156.
- ORTALLI J. (1999) - *Cartografia archeologica e pianificazione territoriale in Emilia Romagna*. In: ZACCARIA C. (a cura di), *Archeologia senza scavo. Nuovi metodi di indagine per la conoscenza del territorio antico*. *Antichità Altoadriatiche*, XLV, 263-267.
- OUDE ESSINK G.H.P. (2001) - *Improving fresh groundwater supply problems and solutions*. *Ocean & Coastal Management*, 44, 2001, 429-449.
- PAIERO G. & MONEGATO G. (2003) - *The Pleistocene evolution of Arzino alluvial fan and western part of Tagliamento morainic amphitheatre (Friuli, NE Italy)*. *Il Quaternario*, 16, 2, 185-193.
- PANCIERA D. (1984) - *Concordia*. In: *Misurare la terra: centuriazione e coloni nel mondo romano. Il caso veneto*. Panini, Modena, 199-206.
- PANIZZA M. & PIACENTE S. (2003) - *I geomorfositi tra ricerca scientifica, integrazione culturale e ispirazione artistica*. *Geologia dell'ambiente*, Numero speciale 1/2003: *Atti del Convegno La geologia ambientale strategie per il nuovo millennio*, Sigea, Roma, 171-173.
- PAOLILLO A. (1994) - *La preistoria*. In: CANIATO G. (a cura di) - *Narvesa all'alba del secondo millennio*. *Narvesa della Battaglia*, 15-24.
- PASCUCCI P. (1990) - *I depositi votivi paleoveneti. Per un'archeologia del culto*. *Archeologia Veneta*, XIII, 291 pp.
- PASQUINUCCI M. & SIGNORE O. (1999) - *Un approccio sistematico per la redazione delle carte archeologiche*. In: AMENDOLA B. (a cura di) - *Carta archeologica e pianificazione territoriale. Un problema politico e metodologico*. Primo incontro di studi Roma marzo 1997. Fratelli Palombi, Roma, 163-167.
- PASQUINUCCI M. & SIGNORE O. (2001) - *La ricerca archeologico-topografica e l'elaborazione dei dati: linee guida per la redazione della Carta archeologica della Toscana*. In: FRANCOVICH R., PELLICANO' A. & PASQUINUCCI M. (a cura di) - *La carta archeologica fra ricerca e pianificazione territoriale*. *Atti del Seminario di Studi organizzato dalla Regione Toscana, Dipartimento delle Politiche Formative e dei Beni Culturali, All'Insegna del Giglio, Firenze*, 171-178.
- PELLEGRINI G.B. (1976) - *Toponomastica preromana*. In: *Padova preromana*. Catalogo della mostra, Padova 27.06÷15.11.1976, Antoniana, Padova, 61-67.
- PELLEGRINI G.B. *et al.*, 2005: PELLEGRINI G.B., ALBANESE D., BERTOLDI R. & SURIAN N. (2005) - *La deglaciazione nel Vallone Bellunese, Alpi Meridionali Orientali*. *Suppl. Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria*, suppl. 7, 271-280.
- PELLEGRINI G.B. *et al.*, 2006: PELLEGRINI G.B., SURIAN N., ALBANESE D., DEGLI ALESSANDRINI A. & ZAMBRANO R. (2006) - *Le grandi frane pleistoceniche di Marzai e dei Collesei di Anzù e loro effetti sull'evoluzione geomorfologica e paleoidrografica della Valle del Piave nel Canale di Quero (Prealpi Venete)*. *Studi Trentini Scienze Naturali, Acta Geologica*, 81 (2004), 87-104.
- PERETTO R. (1986) - *Ambiente e strutture antropiche nell'antico Polesine*. In: *L'antico Polesine. Testimonianze archeologiche e paleoambientali*. Catalogo delle esposizioni di Adria e di Rovigo, Febbraio-Novembre 1986, Antoniana SpA, Padova, 21-102.
- PERETTO R. (1993) - *Strade e bonifiche nell'antico territorio di Adria*. In: MARAGNO E. (a cura di) - *La centuriazione dell'agro di Adria. La mostra archeologica didattica di Villadose. Storia delle scoperte archeologiche nell'area centuriata*. Linea edizioni, Stanghella, 170-185.
- PERETTO R. & ZERBINATI E. (1987) - *Il territorio polesano*. In: CAVALIERI MANASSE G. (a cura di) - *Il Veneto nell'età romana*. Note di urbanistica e di archeologia del territorio, II, 271-289.
- PERUZZA L. *et al.*, 2002: PERUZZA L., POLI M.E., REBEZ A., RENNER G., ROGLEDI S., SLEJKO D. & ZANFERRARI A. (2002) - *The 1976-1977 seismic sequence in Friuli: new seismotectonic aspects*. *Mem. Soc. Geol. It.* 57, 391-400.
- PESAVENTO MATTIOLI S. (1984) - *La centuriazione del territorio a sud di Padova come problema di ricostruzione storico-ambientale*. In: *Misurare la terra: Centuriazione e coloni nel mondo romano. Il caso veneto*. Panini, Modena, 92-108.
- PESAVENTO MATTIOLI S. (1986) - *Le prime sette miglia della strada romana da Padova ad Altino*. *Quaderni di Archeologia del Veneto*, II, 126-134.
- PESAVENTO MATTIOLI S. (2002) - *Il territorio e le risorse*. In: HILLER H. & ZAMPIERI G. (a cura di) - *Padova romana*. Catalogo della mostra Padova 19.02÷20.05.2002, Grafiche Turato, Rubano (PD), 27-36.
- PETRINI V. (ed.) (1980) - *Proposta di riclassificazione sismica del territorio nazionale*. ESA, Roma, 83 pp.
- PETTARIN S. (1997) - *Testimonianze preromane dai territori situati lungo il fiume Livenza*. *Quaderni di Archeologia del Veneto*, XIII, 129-141.
- PIANETTI F. (1978) - *Il corso del Sile: ipotesi geologiche*. *Quaderni del Sile e di altri fiumi, Rivista Italiana di Potamologia*, 1, 20-22.
- PILLON S. (1999) - *Il litorale di Eraclea (VE): proposte per la riqualificazione ambientale*. Tesi di Laurea inedita. Università degli Studi di Trieste, A.A. 1998-99, 86 pp.
- PIOVAN S. (2008) - *Unità di Pegolotte*. In: BONDESAN A., PRIMON S., BASSAN V. & VITTURI A. (a cura di) -, *Le unità geologiche della provincia di Venezia*. Provincia di Venezia, 137.
- PIOVAN S. *et al.*, 2009: PIOVAN S., MOZZI P. & STEFANI C. (2009) - *Bronze age paleohydrography of the southern venetian plain, "Geoarchaeology"*, Vol. 25, n° 1, 6-35.
- PIRAZZOLI *et al.*, 1979: PIRAZZOLI P., PLANCHAIS N., ROSSET-MOULINIER M. & THOMMERET J. (1979) - *Interprétation paléogéographique d'une tourbe de Torson di Sotto (Lagune de Venise, Italie)*. *Niedersächsischen Landesamt in Hannover*, 1-18.
- PIZZAMANO P. *et al.*, 1994: PIZZAMANO P., GRILLO D. & SALVAGNINI A. (1994) - *Profilo storico*. In: BASSAN V., FAVERO V., VIANELLO G. & VITTURI A. (1994) - *Studio geoambientale e geopedologico del territorio provinciale di Venezia, parte meridionale*. Provincia di Venezia, Venezia, pp. 29-53.
- PIZZINATO C. (1996) - *Intervento di controllo e salvaguardia del patrimonio archeologico nella laguna di Venezia in località Murano, S. Erasmo, Burano e Tre Porti*. In: *Atti del Convegno di Archeologia subacquea*, Anzio, (30.05÷1.06.1996). Edipuglia, Bari, 307-309.
- POLI G. & BINI M. (2003) - *Geositi: un laboratorio di comunicazione e valorizzazione*. *Geologia dell'ambiente*, Numero speciale 1/2003: *Atti del Convegno La geologia ambientale strategie per il nuovo millennio*, Sigea, Roma, 174-176.
- PRATI P. (2001) - *C.A.R.T. a Forlì: la Carta del potenziale*

- archeologico del territorio forlivese. In: GUERMANDI M.P. (a cura di) - *Rischio Archeologico: se lo conosci lo eviti*, Atti del convegno di studi su *Cartografia archeologica e tutela del territorio*. Ferrara, 24-25.03.2000, All'Insegna del Giglio, Firenze, 211-214.
- PRENC F. (2002) - *Le pianificazioni agrarie di età romana nella pianura aquileiese*. Editreg srl, Trieste, 146.
- PRIMON S. (2002) - *Le evidenze naturali dell'immagine tele-rilevata e il confronto con gli studi precedenti*. In: GHEDINI F., BONDESAN A. & BUSANA M.S. (a cura di) - *La tenuta di Ca' Tron. Ambiente e storia nella terra dei Dogi*. Cierre, Verona, 41-45.
- PRIMON S. & FONTANA A. (2008) - *Carta della quota della base dei depositi post-LGM, alla scala 1:150 000*. Cierre Edizioni, Sommacampagna di Verona.
- RAGAZZI F. & ZAMARCHI P. (2008) - *I suoli della provincia di Venezia*. Provincia di Venezia e ARPAV-Osservatorio Regionale Suolo, Grafiche Erredici, Padova, pp. 267, 8 tavv + legenda.
- RAGAZZI F. et al., 2004: RAGAZZI F., VINCI I., GARLATO A., GIANDON P. & MOZZI P. (2004) - *Carta dei suoli del bacino scolante in laguna di Venezia*. ARPAV-Osservatorio Regionale Suolo, Castelfranco Veneto, 399 pp.
- RAPAGLIA J. et al., 2010: RAPAGLIA J., DI SIPIO E., BOKUNIEWICZ H., ZUPPI G.M., ZAGGIA L., GALGARO A. & BECK A. (2010) - *Groundwater connections under a barrier beach: a case study in the Venice Lagoon*. *Continental Shelf Research*, 30 (2), 119-126.
- REGIONE DEL VENETO (1990) - *Carta geologica del Veneto, scala 1:250.000*. Regione del Veneto, Segreteria Regionale per il Territorio, Venezia.
- REGIONE DEL VENETO (2000) - *Piano per la prevenzione dell'inquinamento e il risanamento delle acque del bacino idrografico immediatamente sversante nella Laguna di Venezia - Piano Direttore 2000 (approvato dal Consiglio Regionale con deliberazione n° 24 del 1.03.2000)*. Venezia.
- REGIONE DEL VENETO E PROVINCIA DI VENEZIA (2009) - *Indagine idrogeologica sull'area di Porto Marghera* (a cura di: ZANGHERI P., BASSAN V., ABBÀ T., BASSO L., BISAGLIA V., CATTELAN M., FAGARAZZI E., FARINATTI E., MAZZUCCATO A., PRIMON S. & ROSINA A.).
- REGOLI E. (1983) - *Centuriazioni e condizionamenti ambientali*. In: *Misurare la terra: centuriazione e coloni nel mondo romano*. Panini, Modena, 98-102.
- REGOLI E. (1992) - *Il progetto della ricognizione topografica della valle del Cecina*. In: BERNARDI (1992) - *Archeologia del paesaggio*, 545-560.
- REGOLI E. & TERRENATO N. (1989) - *Dall'Albenga al Cecina: l'impostazione di un progetto di ricognizione archeologica*. In: PASQUINUCCI M. & MENCHELLI S. (a cura di) (1989) - *La cartografia archeologica: problemi e prospettive*. Atti del Convegno, Pisa 1988, 207-216.
- REYNOLDS J.M. (2001) - *An introduction to applied and environmental geophysics*. John Wiley & Sons Editors.
- RICCI A. (a cura di) (2002) - *Archeologia e urbanistica*. XII° Ciclo di Lezioni sulla Ricerca Applicata in Archeologia (Certosa di Pontignano), All'insegna del Giglio, Firenze, 368 pp.
- RIGONI A.N. (1984) - *Oderzo*. In: *Misurare la terra: Centuriazione e coloni nel mondo romano. Il caso veneto*. Panini, Modena, 186-194.
- RIZZETTO C. et al., 1995: RIZZETTO C., VITTURI A. & ZANGHERI P. (1995) - *Studio geologico propedeutico al Piano provinciale per l'attività di cava*. Provincia di Venezia, pp. 47, tav. 10.
- RIZZETTO C. et al., 1996: RIZZETTO C., VITTURI A. & ZANGHERI P. (1996) - *Lo studio geologico propedeutico al Piano provinciale dell'attività di cava della Provincia di Venezia: obiettivi e metodologia*. Atti del XXXII Convegno Naz. Ass. It. Cartografia, Piacenza.
- RIZZETTO F. (1994) - *Dune costiere e dune continentali nella pianura padano-veneta orientale: studio geomorfologico condotto attraverso l'analisi delle fotografie aeree*. Tesi di laurea inedita, Dipartimento di Geografia, Università di Padova, Anno Accademico 1993-1994.
- RIZZETTO F. (2000) - *Gli antichi cordoni litoranei e le paleodune del Veneto nord-orientale*. Tesi di dottorato inedita, Dipartimento di Geografia, Università di Padova.
- RIZZETTO F. et al., 2003: RIZZETTO F., TOSI L., CARBOGNIN L., BONARDI M. & TEATINI P. (2003) - *Geomorphological setting and related hydrogeological implications of the coastal plain south of the Venice Lagoon (Italy)*. In: SERVAT E., NAJEM W., LEDUC C. & SHAKEEL A. (eds.) - *Hydrology of the Mediterranean and Semiarid Regions*. IAHS Red Book Ser., 278, IAHS Press, Wallingford, UK, pp 463-470.
- RIZZETTO F. et al., 2009: RIZZETTO F., TOSI L., ZECCHIN M., BRANCOLINI G., BARADELLO L. & TANG C. (2009) - *Ancient geomorphological features in shallows of the Venice Lagoon (Italy)*. *Journal of Coastal Research* 56: 752-756.
- ROSADA G. (1979) - *I fiumi e i porti nella Venezia orientale; osservazioni intorno ad un famoso passo pliniano*. *Aquileia nostra*, 50, 174-255.
- ROSADA G. (1980) - *Portus Aedro-Vallonga* (Padova). *Archeologia Veneta*. III, 69-96.
- ROSADA G. (1990) - *La direttrice endolagunare e per acque interne nella decima regio marittima: tra roisorsa naturale e organizzazione antropica*. In: GIUNTA REGIONALE DEL VENETO (a cura di) - *La Venetia nell'area padano danubiana. Le vie di comunicazione*. Cedam, Padova, 153-182.
- ROSADA G. (1992) - *Aggregazioni insediative e strutture urbane*. In: CRACCO RUGGINI L. (a cura di) - *Storia di Venezia. Dalle origini alla caduta della Serenissima*. 1, Istituto dell'Enciclopedia Italiana, Roma, 209-268.
- ROSADA G. (1999) - *L'agro concordiese come terra di frontiera*. In: CANTINO WATAGHIN G. (a cura di) - *Antichità e Altomedioevo tra Livenza e Tagliamento. Contributo per una lettura della carta archeologica della provincia di Pordenone*, Pordenone, 43-58.
- ROSADA G. (2001) - *E se non si può evitare?* In: *Rischio archeologico: se lo conosci lo eviti*. Atti del Convegno di studi su *Cartografia archeologica e tutela del territorio*. Istituto per i Beni artistici, culturali, naturali della regione Emilia Romagna, Ferrara 24-25.03.2000, Bologna, 144-151.
- ROSADA G. (2003) - *Tra fiumi e mare. Per una storia di una terra anfibia*. In: ROSADA G. (a cura di) - *Arzzergrande e Vallonga. La memoria storica di due comunità*. Canova, Treviso, 27-38.
- ROSADA G. & CERCHIARO K. (a cura di) (2004) - *Topografia archeologica e sistemi informativi*. Quaderni di Archeologia del Veneto, serie speciale 1, Atti del convegno di Borgoricco (20.04.2001), Edizioni Quasar-Canova, Dosson di Treviso, 124 pp.
- ROSADA G. et al., 1999: ROSADA G., MODUGNO I. & MARCHIORI A. (1999) - *Dalla Carta archeologica al SITAR: l'esperienza nel territorio comunale di Padova e il progetto regionale veneto*. In: AMENDOLA B. (a cura di) - *Carta archeologica e pianificazione territoriale. Un problema politico e metodologico*. Primo incontro di studi Roma marzo 1997. Fratelli Palombi, Roma, 120-124.
- ROSADA et al. (2010) - ROSADA G., FRASSINE M., GHIOTTO A.R. et al. (a cura di) - *...viam Anniam influentibus palustribus aquis eververatam... Tradizione, mito, storia e catastrofé di una strada romana*. Canova, Treviso, 190 pp.

- ROSADA G. & LACHIN M.T. (2011) - *Tra Altino e Ravenna: Lova nel sistema stradale e portuale romano altoadriatico*. In: GORINI G. (a cura di) - *Alle foci del Medoacus Minor*. Esedra, Padova, 55-68.
- ROSSI M. (a cura di) (2005) - *Kriegskarte 1798-1805. Il Ducato di Venezia nella carta di Anton von Zach / Das Herzogtum Venedig auf der Karte Antons von Zach*. Fondazione Benetton, Grafiche V. Bernardi, Treviso - Pieve di Soligo, 120 tavole, 788 pp.
- ROSSIGNOLI B. (2003) - *I greci in laguna. Per un inventario dei reperti archeologici*. Hesperia, 17, 275-281.
- RUSCONI A. (1996) - *Le reti idrauliche: ieri e oggi*. In: Atti convegno *La prevenzione del rischio idraulico in provincia di Venezia*. Provincia di Venezia.
- SALERNO R. (2002) - *Bronzo Recente Evoluto e Bronzo Finale nel territorio tra Sile e Tagliamento. Considerazioni sul processo del popolamento antropico*. Fondazione Antonio Colluto, 8, Lait. La Villotta e Bergamo, Guarero, 148.
- SALVATORI S. (a cura di) (1989) - *Ricerche archeologiche a Cittanova (Eraclea) 1987-1988*. Quaderni di Archeologia del Veneto, V, 77-114.
- SALVATORI S. (a cura di) (1990) - *Civitas Nova Eracliana: risultati delle campagne 1987-1988 e prospettive generali*. Antichità Altoadriatiche, XXXVI, 299-309.
- SALVINI M. (1999) - *La carta archeologica della provincia di Firenze*. In: AMENDOLA B. (a cura di) - *Carta archeologica e pianificazione territoriale. Un problema politico e metodologico*. Primo incontro di studi, marzo 1997, Fratelli Palombi, Roma, 168-169.
- SANESI MASTROCINQUE L. (1984) - *L'insediamento romano di Corte Cavanella (Loreo)*. In: *Misurare la terra: Centuriazione e coloni nel mondo romano. Il caso veneto*. Panini, Modena, 109-116.
- SANESI MASTROCINQUE L. (1987) - *L'insediamento romano di Corte Cavanella*. In: CAVALIERI MANASSE G. (a cura di) - *Il Veneto nell'età romana*. Note di urbanistica e di archeologia del territorio, II, Verona, 291-298.
- SANDRINI G. (2011) - *L'occlusione del canale Sioncello nell'area est*. In: TIRELLI M. (a cura di) - *Altino Antica. Dai veneti a Venezia*. 128.
- SARTORI F. (1985) - *Un frammento epigrafico greco trovato a Jesolo*. Antichità Altoadriatiche, XXVII, 65-72.
- SCARFI B.M. (1985) - *Altino romana*. In: TOMBOLANI M. & SCARFI B.M. - *Altino preromana e romana*. Quarto d'Altino, 51-68.
- SCHIAVON E. & SPAGNA V. (a cura di) (1987) - *Carta delle unità geomorfologiche. Le forme del territorio*, Regione del Veneto, Venezia.
- SERANDREI BARBERO *et al.*, 1997: SERANDREI BARBERO R., ALBANI A.D. & ZECCHETTO S. (1997) - *Palaeoenvironmental significance of a benthic foraminiferal fauna from an archaeological excavation in the Lagoon of Venice, Italy*. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 136, 41-52.
- SERANDREI BARBERO R. *et al.*, 2001: SERANDREI BARBERO R., LEZZIERO A., ALBANI A. & ZOPPI U. (2001) - *Depositi tardo-pleistocenici ed olocenici nel sottosuolo veneziano: paleoambienti e cronologia*. Il Quaternario (14), 1, 9-22.
- SIMEONI U. *et al.*, 2003: SIMEONI U., TESSARI U., GABBIANELLI G. & SCHIAVI C. (2003) - *Sea storm risk assessment in the Ravenna littoral (Adriatic Sea, Northern Italy)*. In: (OZHAN E. Ed.), *Proceedings of the Sixth International Conference on the Mediterranean Coastal Environment*. 7÷11.10.2003, Ravenna, Italy, 1-3, 2223-2234.
- SIMONELLA I. (a cura di) (2005) - *Atlante degli ambiti di interesse naturalistico della provincia di Venezia*. Provincia di Venezia, Cicero editore, Venezia.
- SLEJKO D. & REBEZ A. 2002 - *Probabilistic seismic hazard assessment and deterministic ground shaking scenarios for Vittorio Veneto (N.E. Italy)*. Boll. Geof. Teor. Appl., 43, 263-280.
- SLEJKO D. *et al.*, 1987: SLEJKO D., CARRARO F., CARULLI G.B., CASTALDINI D., CAVALLIN A., DOGLIONI C., ILCETO V., NICOLICH R., REBEZ A., SEMENZA E., ZANFERRARI A. & ZANOLLA C. (1987) - *Modello sismotettonico dell'Italia nord-orientale*. CNR - GNDT, Rend. 1, 82, 1987.
- SLEJKO D. *et al.*, 1998: SLEJKO D., PERUZZA L. & REBEZ A. 1998 - *Seismic hazard maps of Italy*. Annali di Geofisica, 41, 183-214.
- SOIL SURVEY DIVISION STAFF (1993) - *Soil Survey Manual*. United States Department of Agriculture, Handbook n° 18. Washington.
- SOIL SURVEY STAFF (2006) - *Keys to Soil Taxonomy, 10th edition*. USDA NRCS, Washington, D.C.
- SOMMELLA P. (1999) - *Il contributo dell'Università per il Sistema Informativo Territoriale Archeologico della Provincia di Roma*. In: AMENDOLA B. (a cura di) - *Carta archeologica e pianificazione territoriale. Un problema politico e metodologico*. Primo incontro di studi (marzo 1997), Fratelli Palombi, Roma, 17-20.
- SOTTANI N. *et al.*, 1982: SOTTANI N., PRETTO L., MARCOLONGO B. & VIERO C. (1982) - *Gli acquiferi nella pianura a Nord di Vicenza: studio del sistema, bilancio idrico e proposte gestionali*. A.I.M. Vicenza, CNR Roma. 181 pp.
- SPAGNA V. (2009) - *Le forme del terreno viste dal cielo: il Veneto - Atlante geomorfologico*, Regione del Veneto e ARPAV.
- STAINSTREET I.G. & MCCARTHY T.S., 1993 - *The Okavango fan and the classification of subaerial fan system*. Sedimentary Geol., 85, 115-133.
- STEFANI M. & VICENZI S., 2005 - *The interplay of eustasy, climate and human activity in the late Quaternary depositional evolution and sedimentary architecture of the Po Delta system*. Marine Geology, 222-223, 19-48.
- STEFANINI S. & CUCCHI F., 1977 - *Le ghiaie del sottosuolo della pianura veneta a oriente del F. Piave*. Quaderni dell'Ist. di Ricerca sulle Acque, 34, 3, 67-78.
- STROZZI T. *et al.*, 2009: STROZZI T., WEGMÜLLER U., WERNER C., WIESMAN A., TOSI L., TEATINI P. & CARBOGNIN L., 2003. *Venezia, Subsidence monitoring service in the Lagoon of Venice for regional administrative and water authorities*. Executive Summary. European Space Agency, Technical Report, (web site: http://dup.esrin.esa.it/files/project/192-171-5-19_2003112510119.pdf).
- STROZZI T. *et al.*, 2009: STROZZI T., TEATINI P. & TOSI L. (2009) - *TerraSAR-X reveals the impact of the mobile barrier works on the Venice coastal stability*. Remote Sensing of Environment 113: 2682-2688.
- SURIAN N. & PELLEGRINI G.B., 2000 - *Paraglacial sedimentation in the Piave Valley (Eastern Alps, Italy): an example of fluvial processes conditioned by glaciation*. Geogr. Fis. Din. Quat., 23, 47-58.
- TEATINI P. *et al.*, 2005: TEATINI P., TOSI L., STROZZI T., CARBOGNIN L., WEGMÜLLER U. & RIZZETTO F. (2005) - *Mapping regional land displacements in the Venice coastland by an integrated monitoring system*. Remote Sensing of Environment, 98: 403-413.
- TEATINI P. *et al.*, 2007a: TEATINI P., STROZZI T., TOSI L., WEGMULLER U., WERNER C. & CARBOGNIN L. (2007a) - *Assessing short- and long-time displacements in the Venice coastland by synthetic aperture radar interferometric point target analysis*, J. of Geophysical Research - Earth Surface, 112: F01012, doi:10.1029/2006JF000656.
- TEATINI P. *et al.*, 2007b: TEATINI P., STROZZI T., TOSI L., WEGMULLER U., WERNER C., CARBOGNIN L., ROSSELLI R., CE-

- CCONI G. & GIADA M. (2007b) - *SAR interferometry to measure land subsidence in the Venice Lagoon on natural and artificial point targets*. In: LACOSTE H., OUWEHAND L. (eds.), ENVISAT Symposium 2007, Communication Production Office, CD-ROM, CD n. 1.
- TEATINI P. *et al.*, 2009: TEATINI P., TOSI L., STROZZI T., CARBOGNIN L., CECONI G., ROSSELLI R. & LIBARDO S. (2009) - *Resolving land subsidence within the Venice Lagoon by persistent scatterer SAR interferometry*. Physics and Chemistry of the Earth, doi:10.1016/j.pce.2010.01.002.
- THETIS S.P.A. (a cura di) (2010) - *Stato dell'ecosistema lagunare veneziano*. Strumenti del Magistrato alle Acque di Venezia, Marsilio Editori, Venezia, pp. 290.
- TIRELLI M. (1985) - *Altino. Necropoli NE dell'Annia. Necropoli "Le Brustolade"*. Quaderni di Archeologia del Veneto, I, 89-91.
- TIRELLI M. (1986) - *Altino. Necropoli NE dell'Annia. Necropoli "Le Brustolade"*. Quaderni di Archeologia del Veneto, II, 34-38.
- TIRELLI M. (1988) - *Altino: rinvenimenti di recinti funerari lungo i lati della via per Oderzo*. Quaderni di Archeologia del Veneto, IV, 106-112.
- TIRELLI M. (1999) - *La romanizzazione di Altinum e nel Veneto orientale: pianificazione territoriale e interventi urbanistici*. In: CRESCI MARRONE G. & TIRELLI M. (a cura di), *Vigilia di romanizzazione. Altino e il Veneto orientale tra II e I sec. A.C.* Atti del convegno, Venezia, S. Sebastiano, 2-3.12.1997. Quasar, Roma, 5-32.
- TIRELLI M. (2001) - *Il porto di Altinum*. In: ZACCARIA C. (a cura di), *Strutture portuali e rotte marittime nell'Adriatico di età romana*. Antichità Altoadriatiche, XLVI, 295-316.
- TIRELLI M. (2002) - *Ab Altino usque ad flumen Silem: la Claudia Augusta all'uscita da Altinum*. In: GALLIAZZO V. (a cura di), *Via Claudia Augusta. Un'arteria alle origini dell'Europa: ipotesi, problemi, prospettive*. Comune di Feltre, Regione del Veneto, 125-136.
- TIRELLI M. (2003) - *Nuovi dati di Altino preromana*. Con un'appendice di BONOMI S. - *Ceramica attica ad Altino*, Hesperia, 17, 223-238.
- TIRELLI M. (a cura di) - *Orizzonti del Sacro. Culti e santuari antichi in Altino e nel Veneto orientale*. Atti del convegno, S. Sebastiano, 2-3.12.1997. Quasar, Roma, 37-60.
- TIRELLI M. (2011a) - *Dal secondo triumvirato all'età augustea (43 a.C.-14 d.C.)*. In: TIRELLI M. (a cura di) - *Altino antica. Dai veneti a Venezia*. Marsilio, Venezia, 115-121.
- TIRELLI M. (2011b) - *Lo scavo del Sioncello e la pianificazione idraulica e ambientale*. In: TIRELLI M. (a cura di) - *Altino antica. Dai veneti a Venezia*. Marsilio, Venezia, 103.
- TIRELLI M. (2011c) - *Il primo secolo d.C.: la floridezza*. In: TIRELLI M. (a cura di) - *Altino antica. Dai veneti a Venezia*. Marsilio, Venezia, 133-139.
- TIRELLI M. & CIPRIANO S. (2001) - *Il santuario altinate in località Fornace*. In: CRESCI MARRONE G. & TIRELLI M. (a cura di) (2001) - *Orizzonti del sacro. Culti e santuari antichi in Altino e nel Veneto orientale*. Atti del convegno, Venezia S. Sebastiano, 2-3.12.1999, Quasar, Roma.
- TOFFOLO F. & TOMASINO M. (1984) - *Contributo alla definizione del clima meteomarinario dell'Alto Adriatico*. Istituto Veneto di Scienze, Lettere ed Arti. Commissione di Studio dei Provvedimenti per la Conservazione e Difesa della Laguna e della Città di Venezia. Rapporti e Studi, vol. IX, 3-12.
- TOMBOLANI M. (1976) - *Stipi votive*. In: AA.VV., *Padova preromana*. Catalogo della mostra, Padova 27.06-15.11.1976, Antoniana, Padova, 173-197.
- TOMBOLANI M. (1984) - *Altino e il Veneto orientale*. In: SALZANI L. (a cura di) - *Il Veneto nell'antichità. Preistoria e protostoria*. Banca Popolare di Verona, Verona, 831-846.
- TOMBOLANI M. (1985a) - *Altino preromana*. In: TOMBOLANI M. & SCARFI B.M. - *Altino preromana e romana*, Quarto d'Altino, 51-68.
- TOMBOLANI M. (1985b) - *Altino romana. La città*. In: TOMBOLANI M. & SCARFI B.M., *Altino preromana e romana*, Quarto d'Altino, 69-100.
- TOMBOLANI M. (1985c) - *Rinvenimenti archeologici di età romana nel territorio di Jesolo*. Antichità Altoadriatiche, XXVII, 73-90.
- TOMBOLANI M. (1985d) - *Jesolo (Venezia) - Loc. "Le Mure"*. Saggi di scavo nell'area della basilica di S. Maria Assunta. Aquileia Nostra, LVI, 474-475.
- TOMBOLANI M. (1985e) - *Il complesso archeologico di S. Mauro a Noventa di Piave*. Tipolitografia Adriatica, Muisile di Piave, pp.
- TOMBOLANI M. (1987) - *Altino*. In: CAVALIERI MANASSE G. (a cura di) - *Il Veneto nell'età romana. Note di urbanistica e di archeologia del territorio*. II, Banca Popolare di Verona, Verona, 311-341.
- TOSI L. (1994) - *L'evoluzione paleoambientale tardo-quaternaria del litorale veneziano nelle attuali conoscenze*. Il Quaternario, 7 (2), 589-596.
- TOSI L. *et al.*, 2000: TOSI L., CARBOGNIN L., TEATINI P., ROSSELLI R. & GASPARETTO STORI G. (2000) - *The ISES Project subsidence monitoring of the catchment basin south of the Venice Lagoon (Italy)*. In: CARBOGNIN L., GAMBOLATI G., JOHNSON A. (eds.): *Land Subsidence*. La Garangola, Padova, Italy, Vol II pp. 113-126.
- TOSI L. *et al.*, 2002: TOSI L., CARBOGNIN L., TEATINI P., STROZZI T. & WEGMÜLLER U. (2002) - *Evidences of the present relative land stability of Venice, Italy, from land, sea, and space observations*. Geophysical Research Letters 29(12): 1562, doi:10.1029/2001GL013211.
- TOSI L. *et al.*, 2007a: TOSI L., TEATINI P., CARBOGNIN L. & FRANKENFIELD J. (2007a) - *A new project to monitor land subsidence in the northern Venice coastland (Italy)*. Environmental Geology 52(5): 889-898.
- TOSI L. *et al.*, 2007b: TOSI L., RIZZETTO F., BONARDI M., DONNICI S., SERANDREI BARBERO R. & TOFFOLETTO F. (2007b) - *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, Foglio 128 "Venezia"*. APAT, Dip. Difesa del Suolo, Servizio Geologico d'Italia, SystemCart, Roma, 164 pp., 2 mappe.
- TOSI L. *et al.*, 2007c: TOSI L., RIZZETTO F., BONARDI M., DONNICI S., SERANDREI BARBERO R. & TOFFOLETTO F. (2007c) - *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, Foglio 148-149 "Chioggia-Malamocco"*. APAT, Dip. Difesa del Suolo, Servizio Geologico d'Italia, SystemCart, Roma, 164 pp., 2 mappe.
- TOSI L. *et al.*, 2009a: TOSI L., TEATINI P., CARBOGNIN L., BRANCOLINI G. (2009a) - *Using high resolution data to reveal depth-dependent mechanisms that drive land subsidence: the Venice coast, Italy*. Tectonophysics, 474(1-2): 271-284.
- TOSI L. *et al.*, 2009b: TOSI L., RIZZETTO F., ZECCHIN M., BRANCOLINI G. & BARADELLO L. (2009b) - *Morphostratigraphic framework of the Venice Lagoon (Italy) by very shallow water VHRS surveys: Evidence of radical changes triggered by human-induced river diversion*. Geophysical Research Letters 36: L09406, doi:10.1029/2008GL037136.
- TOSI L. *et al.*, 2010: TOSI L., TEATINI P., STROZZI T., CARBOGNIN L., BRANCOLINI G. & RIZZETTO F. (2010) - *Ground surface dynamics in the northern Adriatic coastland over the last two decades*. Rendiconti Lincei-Scienze Fisiche e Naturali, 21, Suppl. 1, 115-129.
- TOZZI P. (1984) - *La scoperta di una città scomparsa: Erclea Veneta*. Athenaeum, LXII, fasc. I-II, 252-259.
- TOZZI P. (1987) - *Memoria della terra. Storia dell'uomo*. La Nuova Italia, Firenze, 64 pp.

- TOZZI P. & HARARI M. (1984) - *Eraclea Veneta - Immagine di una città sepolta*. Compagnia Generale Riprese aeree, Parma, 133 pp.
- TREVISANATO A. (1999) - *Cinta muraria e porte urbane di Iulia Concordia. Analisi strutturale ed ipotesi di ricostruzione architettonica*. Portogruaro.
- TRINCARDI F. & ARGNANI A. (a cura di) (2003) - *Cartografia Geologica dei mari italiani, scala 1:250.000, foglio NL 33-10 Ravenna*. Servizio Geologico Nazionale, 2 fogli, 108 pp.
- TURCHETTI R. (1999) - *Le esperienze di Carta archeologica nei comuni di Capena e Monterotondo: criteri, metodi e risultati*. In: AMENDOLA B. (a cura di) - *Carta archeologica e pianificazione territoriale. Un problema politico e metodologico*, Primo incontro di studi, marzo 1997, Fratelli Palombi, Roma, 69-73.
- UFFICIO IDROGRAFICO DEL MAGISTRATO ALLE ACQUE DI VENEZIA - *Annali idrologici*. Ministero LL.PP., Servizio idrografico, Roma.
- UNESCO (1978) - *Water quality surveys*. Studies and reports in hydrology, n° 23, Paris.
- UNESCO, 1980 - *Aquifer contamination and protection*. Project 8,3 of the International Hydrological Programme, 440 pp., Paris.
- UNITED NATIONS INTERNATIONAL STRATEGY FOR DISASTER REDUCTION (2004) - *Living with Risk: a global review of disaster reduction initiatives*. United Nations, Geneva, Switzerland, Vol. 2, 126 pp.
- URBANI DE GHELTOF G. (1880-1881) - *Preistoria di Venezia*. *Bullettino di arti, industrie e curiosità veneziane*, 132-144.
- VASCELLI VALLARA V. *et al.*, 1999: VASCELLI VALLARA V., POGGIANI KELLER R. & ROSSI F. (1999) - *La carta archeologica della Lombardia e la dimensione storica del paesaggio*. In: AMENDOLA B. (a cura di) - *Carta archeologica e pianificazione territoriale. Un problema politico e metodologico*. Primo incontro di studi, marzo 1997, Fratelli Palombi, Roma, 89-96.
- VALENSISE, G. & D. PANTOSTI D. (eds) (2001) - *Database of Potential Sources for Earthquakes Larger than M 5.5 in Italy*. *Annali di Geofisica*, vol. 44 (4), Suppl., 180 pp., with database on CD-ROM.
- VALENTINELLI G. (1851) - *Alcune notizie intorno alle escavazioni che recentemente si eseguivano nel territorio di Vallonga, Distretto di Piove, e agli oggetti che con esse si rinvennero, 28 aprile*. (Manoscritto Biblioteca Museo Civico di Padova, B.P. (1014, VII). In: *Atti Istituto Veneto Scienze Lettere ed Arti*, II, 117-132.
- VALLERANI F. (1994) - *La scoperta dell'entroterra. Nuovi turisti tra Veneto Orientale e Pordenonese*. Nuova Dimensione, Portogruaro.
- VANDENBOHEDE A. & LEBBE L. (2006) - *Occurrence of salt water above fresh water in dynamic equilibrium in a coastal groundwater flow system near De Panne, Belgium*, *Hydrogeology Journal*, 14, 2006, 462-472.
- VAROSIO F. (2001) - *Ricerche per una mensiocronologia dei laterizi a Venezia*. Tesi di Laurea in Rilievo e Analisi Tecnica dei Monumenti Antichi (Relatore: Isabella Ferrando; correlatori: Carlo Varaldo, Tiziano Mannoni), Università di Genova, Facoltà di Lettere e Filosofia - Corso di Laurea in Conservazione dei Beni Culturali - Indirizzo Archeologico, Architettonico e per l'Ambiente, inedita).
- VEDALDI ISBAEZ V. (1994) - *La Venetia orientale e l'Histria. Le fonti letterarie greche e latine fino alla caduta dell'Impero Romano d'Occidente*. Quasar, Roma, 526.
- VENTURINI C. (a cura di) (2003) - *Glaciers*. Catalogo della mostra, Museo Friulano di Storia Naturale, Udine.
- VERONESE F. (a cura di) (2009) - *Via Annia. Adria, Padova, Altino, Concordia, Aquileia. Progetto di recupero e valorizzazione di un'antica strada romana*. Atti della giornata di studi, Padova, 19.06.2008. Il poligrafo, Padova, 252 pp.
- VERONESE F. (a cura di) (2011) - *Via Annia II. Adria, Padova, Altino, Concordia, Aquileia. Progetto di recupero e valorizzazione di un'antica strada romana*. Atti della II Giornata di Studio, Padova, 17.06.2010, a cura di F. VERONESE, Padova, Il Poligrafo, 324.
- VESCOVI E. *et al.*, 2007: VESCOVI E., RAVAZZI C., ARPENTI E., FINSINGER W., PINI R., VALSECCHI V., WICK L., AMMANN B. & TINNER W. (2007) - *Interactions between climate and vegetation during the Lateglacial period as recorded by lake and mire sediment archives in Northern Italy and Southern Switzerland*. *Quaternary Science Reviews*, 26, 1650-1666.
- VIANELLO G. (1989) - *Cartografia e fotointerpretazione* Editrice CLUEB, Bologna.
- VIANELLO G. *et al.*, 1994: VIANELLO G., BASSAN V., GOBBO L., VITTURI A. (1994) - *Carta dei sottotipi idrologici*. In: BASSAN V., FAVERO V., VIANELLO G., VITTURI A., (1994) - *Studio geoambientale e geopedologico del territorio provinciale: parte meridionale*. Provincia di Venezia.
- VICARI L. & ZAVATTI A. (1990) - *Inquadramento idrogeologico e idrochimico della Pianura Padana Emiliana - Romagna*. *Carta preliminare della vulnerabilità del sistema acquifero*. Quad. Tecniche Protez. Ambientale, 11, Pitagora Ed., Bologna.
- VIEZZOLI A. *et al.*, 2010: VIEZZOLI A., TOSI L., TEATINI P., SILVESTRI S. (2010) - *Surface water-groundwater exchange in transitional coastal environments by airborne electromagnetics: the Venice Lagoon example*. *Geophysical Research Letters*, 37, L01402.
- VIOLANTE A. (1994) - *Laguna e bracci fluviali nella campagna di Cleonimo contro Patavium*. In: ANTICO GALLINA M. (a cura di) - *Acque interne: uso e gestione di una risorsa*. Et, Milano, 47-65.
- VITTURI A. (1980) - *Influenza della geologia e dell'idrogeologia sull'agricoltura dei territori della bassa pianura padana - veneta, con particolare riguardo i comprensori di Chioggia - Cavarzere, di San Donà di Piave e di Portogruaro, nel territorio provinciale di Venezia*. Mensile "Provincia di Venezia", n° 11-12/1980.
- VITTURI A. (1981) - *Problemi geologici nella realizzazione di discariche controllate di rifiuti solidi*. IX Convegno Nazionale Ambiente e Risorse, Bressanone (BZ).
- VITTURI A. (1983) - *Appendice al "Profilo storico"*. In: COMEL A. & VITTURI A. (a cura di) (1983) - *Studio geopedologico ed agronomico del territorio provinciale di Venezia, parte nord-orientale*. Provincia di Venezia, pp. 63-68.
- VITTURI A. (1984) - *Illustrazione delle principali componenti del rischio geologico relative al territorio compreso tra i fiumi Livenza e Tagliamento nella provincia di Venezia*. In: *Atti V° Congresso Ordine Nazionale Geologi Geologia e Protezione Civile*.
- VITTURI A. (1985a) - *La ricerca preliminare, a livello provinciale, delle aree favorevolmente indiziate per il reperimento di materiale di cava: l'esempio del Portogruarese e del Sandonatese in provincia di Venezia*. In: *Atti del III Convegno Nazionale su Attività estrattiva dei minerali di 2ª categoria: coltivazione, valorizzazione e normative regionali e nazionali*. Regione Puglia e Ass. Naz. Ing. Minerari, Bari, 17-19.01.1985, pp. 88-91.
- VITTURI A. (1985b) - *Geologi, agronomi e forestali nella pianificazione e tutela delle zone agricole*. Atti del Convegno *Pianificazione e tutela delle zone agricole*. Treviso.
- VITTURI A. (1986) - *Il rischio geologico nella provincia di Venezia*. Bimestrale "Provincia di Venezia", 5-6/1986.
- VITTURI A. (1994) - *Studio della distribuzione del <caranto>*

- nei suoli del territorio provinciale di Venezia tra antico Sile e Livenza, utile per una maggiore comprensione dell'antica situazione topografica. In: DORIGO W. - *Venezie sepolte nella terra del Piave: duemila anni fra il dolce e il salso*. Viella, Roma, 388-389.
- VITTURI A. (1996) - *Il ruolo della geologia nella pianificazione territoriale provinciale*. Atti del Convegno *Il geologo nella pianificazione territoriale*. Rovigo.
- VITTURI A. (a cura di) (1998) - *Atti del Convegno "Una provincia a rischio. Il programma di previsione e prevenzione. La nuova legge quadro di Protezione Civile: serve una nuova legge?"* (Venezia, 16.01.1998). Provincia di Venezia.
- VITTURI A. (a cura di) (1999) - *Programma di previsione e prevenzione in materia di Protezione Civile. Relazione di sintesi*. Provincia di Venezia, Settore Tutela e Valorizzazione del Territorio, U.O. Difesa del Suolo e Protezione Civile: 179 pp., 3 tav.
- VITTURI A. (2000) - *Le potenzialità del geologo nella pubblica amministrazione: il caso della Provincia di Venezia*. Rivista "Geologia dell'Ambiente", Roma.
- VITTURI A. (a cura di) (2001a) - *Piano di Emergenza della Provincia di Venezia*. CD-Rom, Provincia di Venezia.
- VITTURI A. (2001b) - *Il Piano di Emergenza della Provincia di Venezia*, Veneto Geologi, 35/2001.
- VITTURI A. (a cura di) (2003) - *Piano di Emergenza della Provincia di Venezia*. CD-Rom, Provincia di Venezia.
- VITTURI A. (2003) - *La tutela e la valorizzazione del territorio provinciale attraverso le conoscenze geologiche*. Atti in CD-Rom del Convegno Nazionale *Le risorse idriche sotterranee: conoscerle per proteggerle*. Venezia.
- VITTURI A. (a cura di) (2008) - *Piano di Emergenza della Provincia di Venezia*. CD-Rom Provincia di Venezia.
- VITTURI A. & CAMPACI P. (1984) - *Zonazione geologica del territorio compreso tra Livenza e Tagliamento nella provincia di Venezia per la realizzazione di discariche controllate di rifiuti solidi urbani*. Atti SEP Pollution 1984, Fiere di Padova.
- VITTURI A. & GIOCO F. (1985) - *Indagine geologica e idrogeologica del territorio comunale di Casier (Treviso) per determinare le aree a diversa vocazione dell'attività estrattiva*. In: Atti del III° Convegno Nazionale su *Attività estrattiva dei minerali di 2ª categoria: coltivazione, valorizzazione e normative regionali e nazionali*. Regione Puglia e Ass. Naz. Ing. Minerari, Bari, 17÷19.01.1985, pp. 92-96.
- VITTURI A. & BROCCA G. (1987) - *Complementarietà degli studi storici e delle indagini geologiche per meglio conoscere un territorio. L'esempio del territorio provinciale di Venezia tra Livenza ed antico Sile*. In: Atti VI° Congresso Nazionale Ordine naz. Geologi *Il geologo e l'ambiente: un ruolo, una professione, un impegno*, Padova (1987).
- VITTURI A. & BASSAN V., 1994 - *Carta dei sistemi litologici*. In: BASSAN V., FAVERO V., VIANELLO G. & VITTURI A. (1994) - *Studio geoambientale e geopedologico del territorio provinciale: parte meridionale*. Provincia di Venezia.
- VITTURI A. & ZANGHERI P. (a cura di) (1995) - *Atti del Convegno Nazionale "La pianificazione dell'attività estrattiva (Venezia, 16-17.03.1995)*. Provincia di Venezia.
- VITTURI A. & DE ROSSI J. (1995) - *The geological structure and the problems of risk in the territorial plan of the province of Venice*. Atti First European Congress on Regional Geological Cartography and Information Systems *Geological cartography and information systems for land and environmental planning in European Regions*, Bologna.
- VITTURI A. & MURER D. (2003) - *The Hydraulic Risk in the province of Venice*. Atti Convegno Internazionale *Acqua alta München 2003*, pp. 42-43.
- VITTURI A. et al., 1983: VITTURI A., BENELLI F., GAIATTO R. & RUBBINI M. (1983) - *Note illustrative relative ai rilievi di aggiornamento e di maggior dettaglio*. In: COMEL A. & VITTURI A. (a cura di) (1983) - *Studio geopedologico ed agronomico del territorio provinciale di Venezia, parte nord - orientale*. Provincia di Venezia, pp. 97-111.
- VITTURI A. et al., 1994: VITTURI A., BASSAN V., DE SANDRE M. & DE ROSSI J. (1994) - *Carta del Franco di bonifica*. In: BASSAN V., FAVERO V., VIANELLO G. & VITTURI A. (1994) - *Studio geoambientale e geopedologico del territorio provinciale: parte meridionale*. Provincia di Venezia.
- VITTURI A. et al., 2000: VITTURI A., BASSAN V., BASSO B., GOBBO L. & ZANGHERI P. (2000) - *Suolo e sottosuolo della provincia di Venezia. Un'esperienza ventennale su banche dati e cartografie tematiche a servizio dell'ambiente*. Atti Convegno *La scienza del suolo per l'ambiente*, Venezia.
- VOLPE G. (2008) - *Per un'archeologia globale dei paesaggi> della Daunia. Tra archeologia, metodologia e politica dei beni culturali*. In: VOLPE G., STRAZZULLA M.J. & LEONE D. (a cura di) - *Storia e archeologia della Daunia. In ricordo di Marina Mazzei*. Atti delle giornate di studio (Foggia, 19÷21.05.2005), Edipuglia, Bari, 447-462.
- VOLPE G. & ARNOLDUS-HUYZENDVELD (2005) - *Interpretazione dei dati archeologici nella ricostruzione storica e ambientale del paesaggio suburbano: l'area di cento celle nel suburbio sudorientale*. In: FRIZELL-KLYNNE S. (eds) - *Roman Villas around the urbs. Interaction with landscape and environment*. Proceedings of a conference at the Swedish Institute in Rome (Roma 2004), 495.
- VORLICEK P.A. et al., 2004: VORLICEK P.A., ANTONELLI R., FABRI P. & RAUSCH R. (2004) - *Quantitative hydrogeological studies of Treviso alluvial plain (north east of Italy)*. Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology, v. 37, pp. 23-29.
- WARD PERKINS J.B. (1955) - *Notes on Southern Etruria and the Ager Veientanus*. In: *Papers of the British School at Rome*, 23, 44-72.
- ZACCARIA C. (a cura di), (1999) - *Archeologia senza scavo: Nuovi metodi di indagine per la conoscenza*. Antichità Altopadriatiche, XLV, 300 pp.
- ZAGHETTO L. (1992a) - *Storia del fiume, alvei e paleovalvei*. In: BAGGIO P., BELLINATI C., BORDIN B., DALLA CORTE M., GALEAZZO L., GONZATO R., LEONARDI G., SIGALOTTI G.B., STOCCO R., ZAGHETTO L. & ZAMBONI C. - *Padova nord-est. Archeologia e territorio*. Editoriale Programma, Padova, 92-98.
- ZAGHETTO L. (1992b) - *Le stipi votive e i santuari paleoveneti di Padova e del Veneto*. In: BAGGIO P., BELLINATI C., BORDIN B., DALLA CORTE M., GALEAZZO L., GONZATO R., LEONARDI G., SIGALOTTI G.B., STOCCO R., ZAGHETTO L. & ZAMBONI C. - *Padova nord-est. Archeologia e territorio*. Editoriale Programma, Padova, 164-176.
- ZAMBONI C. (2002) - *Il contributo del telerilevamento: le evidenze archeologiche*. In: GHEDINI F., BONDESAN A. & BUSANA M.S. (a cura di) - *La tenuta di Ca' Tron. Ambiente e storia nella terra dei dogi*. Cierre Edizioni, Sommacampagna di Verona, 46-56.
- ZANETTI M. (1985) - *Boschi e alberi della Pianura Veneta Orientale*. Nuova Dimensione, Portogruaro, VE.
- ZANETTI M. (1988) - *Flora notevole della Pianura Veneta Orientale*. Nuova Dimensione, Portogruaro, VE.
- ZANETTI M. (1994) - *Il Piave, fiume vivente*. Nuova Dimensione, Portogruaro, VE.
- ZANETTI M. (a cura di) (1997) - *Atlante della flora notevole della Pianura Veneta Orientale*, WWF-II Pendolino, Ediciclo, Portogruaro, VE.
- ZANETTI M. (2000) - *Flora notevole e rara del territorio comunale di San Donà di Piave, VE*. In: *Flora e Fauna*

- della *Pianura Veneta Orientale; osservazioni di campagna 1999*. Associazione Naturalistica Sandonatese, San Donà di Piave, VE.
- ZANETTI M. (2002) - *La foresta planiziale nella Pianura Veneta Orientale*. In: *Mappa Archeologica* (2002), Gruppo Archeologico Veneto Orientale, Gruaro, VE.
- ZANETTI M. (2002) - *La foce del Tagliamento: aspetti naturalistici e problemi di conservazione*. Nuova Dimensione, Portogruaro VE, 119 pp.
- ZANETTI M. (a cura di) (2003) - *Il parco dei fiumi Lemene e Reghena*. Nuova Dimensione, Portogruaro VE, 19-27 pp.
- ZANETTI M. (2004) - *Le lagune del Veneto Orientale*. Nuova Dimensione, Portogruaro VE, 180 pp.
- ZANETTI M. *et al.*, 2007: ZANETTI M., MARCOLIN C., BONOMETTO L. & NICCOLUCCI V. (2007) - *La laguna di Venezia: ambiente, naturalità, uomo*. Nuova Dimensione, Portogruaro, 263 pp.
- ZANETTI M. (a cura di) (1999-2011) - *Flora e Fauna della Pianura Veneta Orientale. Osservazioni di campagna*. Associazione Naturalistica Sandonatese, Noventa di Piave, VE.
- ZANFERRARI A., 2007 - *Evoluzione pre-quaternaria*. In: TOSI L., RIZZETTO F., BONARDI M., DONNICI S., SERANDREI BARBERO R. & TOFFOLETTO F. (a cura di) - *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000. 128 - Venezia*. APAT, Dip. Difesa del Suolo, Servizio Geologico d'Italia, Casa Editrice SystemCart, Roma, 12-19.
- ZANFERRARI A. *et al.*, 1982: ZANFERRARI A., BOLLETTINARI G., CAROBENE L., CARTON A., CARULLI G.B., CASTALDIN D., CAVALLIN A., PANIZZA M., PELLEGRINI G.B., PIANETTI F. & SAURO U. (1982) - *Evoluzione neotettonica dell'Italia Nord-Orientale*. Mem. Soc. Geol., 35, 355-376, Padova, 1982.
- ZANFERRARI A. *et al.*, 2008a: ZANFERRARI A., AVIGLIANO R., MONEGATO A., PAIERO G., POLI E. & TOFFOLON G. (2008a) - *Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000: Foglio 066 "Udine"*. APAT-Servizio Geologico d'Italia - Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia, 1 foglio.
- ZANFERRARI A. *et al.*, 2008b: ZANFERRARI A., AVIGLIANO R., GRANDESSO P., MONEGATO A., PAIERO G., POLI E., STEFANI C. & TOFFOLON G. (2008b) - *Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000: Foglio 065 "Maniago"*. APAT-Servizio Geologico d'Italia - Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia, 1 foglio.
- ZANFERRARI A. *et al.*, 2008c: ZANFERRARI A., AVIGLIANO R., FONTANA A., MARCHESINI A. & PAIERO G. (2008c) - *Carta geologica d'Italia alla scala 1:50.000 - Foglio 086 "S. Vito al Tagliamento"*. APAT-Servizio Geologico d'Italia - Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia, Arti Grafiche Friulane, Udine.
- ZANGHERI P. (1994) - *Indagine sull'inquinamento delle acque sotterranee nella Pianura Veneta*. Ambiente, risorse e salute, n° 2/94. Padova.
- ZANGHERI P. (2000) - *L'acqua sotterranea: una risorsa nascosta. Pozzi, acquiferi e falde nella provincia di Venezia*. Provincia di Venezia e Civiltà dell'Acqua.
- ZANGHERI P. (2002b) - *Vulnerabilità degli acquiferi della provincia di Venezia. Indagini in corso e problemi aperti*. Atti del Convegno Nazionale *Le risorse idriche sotterranee: conoscerle per proteggerle* (Venezia, 14÷15.11.2001). Regione del Veneto - Provincia di Venezia.
- ZANGHERI P. (2006) - *L'idrogeologia del Veneziano*. In: BONDASAN A., BASSAN V. & VITTURI A. (a cura di) (2006) - *Atti del Convegno "Geologia Urbana di Venezia" (Venezia - Mestre, 24.11.2006)*. Geologia dell'Ambiente, suppl. 3/2008.
- ZANGHERI P. & AURIGHI A. (2001) - *La rete di monitoraggio delle acque sotterranee della provincia di Venezia*. Pubblicazione edita su CD-ROM. Regione del Veneto - Provincia di Venezia.
- ZANGHERI *et al.*, 2001: ZANGHERI P., GARBELLINI A., GREGO S., PAULON G., VITTURI A. (2001) - *Indagine sulle acque sotterranee del Portogruarese*. Consorzio di Bonifica Pianura Veneta tra Livenza e Tagliamento - Provincia di Venezia.
- ZANON F.S. (1937) - *Storia sismica della provincia di Venezia*. Annuario dell'Osservatorio Geofisico del Seminario Patriarcale di Venezia, Serie II, Vol. X. Verona 1937, 53-89.
- ZARLENGA F. (1996) - *I geotopi, dalla ricerca scientifica alla pianificazione, controllo e gestione*. Geologia dell'Ambiente, Sigea, Roma, 2, 3-5.
- ZAVATTI A. *et al.*, 1995: ZAVATTI A., ATTRAMINI D., BONAZZI A., BORALDI V., MALAGÒ R., MARTINELLI G., NALDI S., PATRIZI G., PEZZERA G., VANDINI W., VENTURINI L. & ZUPPI G.M. (1995) - *La presenza di Arsenico nelle acque sotterranee della Pianura Padana: evidenze ambientali e ipotesi geo-chimiche*. Atti del 2° Conv. Naz. *Protezione e gestione delle acque sotterranee*. Nonantola (MO) 17÷19.05.95. Quaderni di Geol. Appl., suppl. 2, 1/95, pp. 301-316. Pitagora ed., Bologna.
- ZECCHIN M. *et al.*, 2008: ZECCHIN M., BARADELLO L., BRANCOLINI G., DONDA F., RIZZETTO F. & TOSI L. (2008) - *Sequence stratigraphy based on high resolution seismic profiles in the late Pleistocene and Holocene deposits of the Venice area*. Marine Geology 253: 185-198.
- ZECCHIN M. *et al.*, 2009: ZECCHIN M., BRANCOLINI G., TOSI L., RIZZETTO F., CAFFAU M. & BARADELLO L. (2009) - *Anatomy of the Holocene succession of the southern Venice Lagoon revealed by very high resolution seismic data*. Continental Shelf Research 29(10): 1343-1359.
- ZERBINATI E. (1984) - *Adria*. In: *Misurare la terra: Centuriazione e coloni nel mondo romano. Il caso veneto*. Panini, Modena, 167-171.
- ZERBINATI E. (1990) - *La terra disegnata e un paesaggio fossile. La gestione del territorio: il popolamento, l'agro centuriato e la viabilità*. In: MUNARI C. (a cura di) - *Padus. La lunga storia del Delta*. Cassa di Risparmio di Padova e Rovigo, Rovigo, 36-47.
- ZEZZA F. (2006) - *Geologia: proprietà e deformazione dei terreni del centro storico di Venezia*. In: BONDASAN A., BASSAN V. & VITTURI A. (a cura di) (2006) - *Atti del Convegno "Geologia Urbana di Venezia" (Venezia - Mestre, 24.11.2006)*. Geologia dell'Ambiente, suppl. 3/2008.
- ZEZZA F. (2008) - *Geologia, proprietà e deformazione dei terreni del centro storico di Venezia*. Secondo Convegno *La riqualificazione delle città e dei territori, Geologia e Progettazione nel centro storico di Venezia*. In: Quaderni IUAV n. 54, pp. 9-41. Ed. Il Poligrafo, Padova.
- ZEZZA F. & DI SIPIO E. (2008) - *Salt Water Intrusion in The Shallow Aquifers of Venice, Proceeding of the 20th Salt Water Intrusion Meeting SWIM, Naples, Florida, USA*. June 23÷27, 2008, 5962.
- ZUNICA M. (1971) - *Le spiagge del Veneto*. Centro Studi Geogr. Fis., Univ. di Padova, Tipografia Antoniana, Padova, 144 pp.
- ZUPPI G.M. & SACCHI E. (2004) - *Dynamic processes in the Venice Region outlined by environmental isotopes. Isotopes in environmental and health studies*. 40, 35-44.

CURRICULUM VITAE AUTORI E COLLABORATORI

Tiziano Abbà è laureato a Padova in scienze geologiche e svolge la libera professione. Si occupa prevalentemente di rilevamento geologico, geomorfologico e geoarcheologico in aree di pianura e di fondovalle alpino, collaborando con università ed enti pubblici (Dipartimenti di Geografia e di Archeologia di Padova, Provincia di Venezia, Provincia Autonoma di Trento) a progetti finalizzati alla comprensione della geologia del territorio e alla produzione della relativa cartografia tematica (*Cap. 8; Tavv. 7-10*).

Diego Albanese, geologo libero professionista (ADGEO), Dottore di Ricerca in Scienze della Terra, si occupa di tematiche geologiche, geomorfologiche e idrogeomorfologiche in ambiente alpino e di pianura attraverso sistemi GIS-GPS e cartografia tematica, geologia ambientale in ambito di bonifiche (471/99), nonché di sistemi di monitoraggio ambientale (*Tav. 10*).

Monica Amatucci, docente di Scienze Naturali presso il Liceo "Archimede" di San Giovanni in Persiceto (Bo), è laureata in Scienze Naturali e collabora dal 1994 con l'Università di Bologna (DISTA) nel settore Cartografia e Sistemi Informativi Geografici. Esperta nell'uso dei GIS, si occupa in particolare dell'elaborazione, acquisizione informatica e analisi territoriale della micromorfologia e dei tematismi di base (*Cap. 1; Tav. 1*).

Adriano Barbi, dottore forestale, laureato in Scienze Forestali all'Università di Padova, ha conseguito il diploma di perfezionamento *Post-Lauream* in Gestione e Controllo dell'Ambiente presso l'Università degli Studi di Trento. Dal 1994 lavora presso il Centro Meteorologico di Teolo (PD) in attività tecnico-operative in ambito regionale e di ricerca applicata inerenti l'idrologia, la climatologia e la meteorologia. Autore e/o coautore di diverse pubblicazioni scientifiche o *report* tecnici e correlatore in tesi di laurea su argomenti riguardanti la climatologia, la meteorologia e l'agrometeorologia. Iscritto all'Albo formatori di A.R.P.A.V., svolge attività di docenza nell'ambito di corsi di formazione, aggiornamento professionale e di divulgazione scientifica inerenti la meteorologia e la climatologia (*Cap. 11*).

Marina Aurighi, laureata in Geologia presso l'Università di Padova, dopo aver esercitato l'attività di libero professionista, dal 2000 lavora per il Servizio Tutela delle Acque della Segreteria all'Ambiente della Regione Veneto. Si occupa da anni di temi legati alla risorsa idrica e di progetti internazionali sulle tematiche ambientali (*Cap. 12; Tavv. 6-8*).

Valentina Bassan: dopo la laurea in Scienze geologiche a Padova (1989) ha esercitato a lungo la professione di geologo per conto di numerose amministrazioni pubbliche e per privati. Dopo brevi esperienze come dipendente della Regione Veneto - Servizio Geologico e della Provincia di Treviso - Settore Ambiente, dal 2002 è la responsabile del Servizio Geologico della Provincia di Venezia. Ha al suo attivo varie decine di pubblicazioni. Dal 2007 è Vice Commissario all'emergenza idraulica (OPCM 3621/07) e in quest'ambito si è occupata della pianificazione di interventi idraulici per la messa in sicurezza del territorio in emergenza e di alcune problematiche ambientali connesse, anche curando specifici accordi di programma (*Cap. 7-8-*

13-15-17-20; Tavv. 5-6-7-8-9-10-12-13; collaborazione al curatore).

Bruna Basso è agronomo in Padova. Per la Provincia di Venezia si è occupata di cartografia dei suoli e di gestione di banche dati. Attualmente svolge attività di libero professionista prevalentemente nel campo della pianificazione territoriale e della cartografia informatizzata, unitamente ad attività di docenza per Enti pubblici e privati (*Tavv. 6-8*).

Francesco Benincasa ha conseguito la Laurea in Scienze Geologiche presso l'Università di Padova. Svolge l'attività professionale dal 1997 ed è specializzato in geofisica, geotecnica, indagini non distruttive sulle strutture, valutazioni di pericolosità e di rischio idraulico. Consulente della Provincia di Padova nella redazione dei Piani comunali di Protezione Civile e della Provincia di Venezia in tema di Attività Estrattive (*Cap. 15; Tavv. 6-8*).

Andrea Benozzi ha conseguito, nell'estate 2005, la laurea in Scienze Geologiche presso l'Università degli studi di Padova. Ha collaborato ad alcuni progetti della Provincia di Venezia, Servizio Geologico e Difesa del Suolo, nel 2007 (*Tavv. 7-10*).

Barbara Bertani si è laureata in Scienze Geologiche all'Università di Parma e dal 1998 si occupa, attraverso strumenti GIS, di attività riguardanti l'archeologia, la geomorfologia e la geologia della Laguna di Venezia e della sua gronda presso il Servizio Informativo del Consorzio Venezia Nuova, Concessionario del Magistrato alle Acque di Venezia (*Tav. 9*).

Annelore Bezzi, laureata in scienze geologiche, collabora con il Dipartimento di Geoscienze dell'Università di Trieste. I principali interessi scientifici sono la morfodinamica e sedimentologia degli ambienti transizionali (avandune, spiagge, lagune, bocche tidali), difesa e gestione ambientale di aree costiere, vulnerabilità costiera, stratigrafia e sedimentologia. Ha preso parte a numerosi progetti di ricerca nazionali e attività di ricerca in contratti con enti pubblici e privati, che hanno avuto come oggetto di studio le aree costiere del Veneto e del Friuli Venezia Giulia (*Cap. 19; Tav. 16*).

Luca Bincoletto è geologo libero professionista ed esperto in GIS. Laurea in Scienze Geologiche, laurea in Sistemi Informativi Territoriali, Master di I° livello in Sistemi Informativi Territoriali e Telerilevamento e Master di II° livello in Caratterizzazione e Uso Sostenibile delle Risorse del Territorio. Dal 1999 è consulente presso enti pubblici e privati nel settore della geomatica, occupandosi principalmente delle seguenti tematiche: cartografia geomorfologica di pianura, banche dati di sondaggi geognostici, modellazione 3D di siti contaminati, idrologia dei bacini montani, sviluppo di applicativi GIS a supporto delle analisi idrologiche, catasto delle opere di sistemazione idraulico-forestali e banche dati di vertici GPS e capisaldi di livellazione (*Tav. 9*).

Vittorio Bisaglia è geologo libero professionista di Padova. Svolge la propria attività nei campi dell'analisi e gestione del rischio idrogeologico e della pianificazione degli interventi ambientali mediante l'utilizzo di metodologie G.I.S. Consulente della Provincia di Venezia per il reperimento e informatizzazione dei dati territoriali e della Provincia di Padova

e di diverse amministrazioni comunali per la redazione dei Piani di Protezione Civile (Tavv. 6-7-8-10).

Arianna Bisazza ha conseguito la Laurea Specialistica in Geologia e Geologia Tecnica presso l'Università di Padova con una tesi sugli aspetti geomorfologici e pedologici della bassa pianura padovana. Attualmente svolge la professione di geologo su tematiche riguardanti la geologia tecnica, la geomorfologia e la cartografia di pianificazione territoriale nell'ambito territoriale vicentino (Tav. 10).

Vincenzo Bixio è titolare della cattedra di Costruzioni Idrauliche e affidatario dell'insegnamento di Bonifica e Irrigazione per l'indirizzo di Laurea in Ingegneria Civile presso il Dipartimento IMAGE dell'Università degli Studi di Padova. È Direttore del Master in Bonifica idraulica ed irrigazione tenuto presso l'Università di Padova e il Consorzio Università di Rovigo. Ha svolto la propria attività di ricerca prevalentemente nell'ambito della bonifica idraulica, dell'irrigazione e delle costruzioni idrauliche in generale e la propria attività applicata prevalentemente a favore di Enti pubblici, quali Regioni e Consorzi di bonifica (Cap. 17).

Jacopo Boaga si è laureato con Lode in Scienze Geologiche all'Università di Padova nel 2004 con una Tesi di Sismologia Applicata, vincitrice del premio nazionale 'G. Pialli'. Ha conseguito nel 2008 il Dottorato di Ricerca in Scienze della Terra presso il medesimo ateneo, in correlazione con la cattedra di Sismologia dell'Università di Trieste. Le sue ricerche ricadono nell'ambito della Geofisica applicata e sono principalmente rivolte alle metodologie sismiche di esplorazione. Collabora a diversi progetti di Ricerca nazionali e internazionali; la sua attività è documentata in oltre 30 pubblicazioni su riviste e atti del settore (Cap. 10).

Aldino Bondesan è docente di Geomorfologia all'Università di Padova, nella quale insegna dai primi anni '90. Ha compiuto ricerche di geomorfologia delle pianure, di morfologia glaciale e glaciologia, di carsologia, di geoarcheologia e di geologia militare. Ha organizzato e partecipato a spedizioni scientifiche in Antartide, Asia e Africa. Ricopre vari incarichi sia in ambito accademico che in associazioni scientifiche nazionali ed è autore di oltre 150 pubblicazioni scientifiche e divulgative (Capp. 7-8-9; Tavv. 6-7-9-10; collaborazione al curatore).

Giampaolo Borsetto*, geologo in Solesino (PD) (Tav. 7).

Lara Bruggianesi*, agronoma di Aiello del Friuli (UD) (Tavv. 6-8).

Giuseppe Canali, dipendente dal 1993 del Ministero dell'Interno - Prefettura di Venezia; da luglio 2009 è assessore alla Protezione Civile, Polizia Provinciale, Pesca e Parchi - Riserve - Boschi della Provincia di Venezia; consigliere nel Comune di S. Stino di Livenza dal 2003 (Cap. 20).

Laura Carbognin, geostatistica, già dirigente di ricerca presso la sede CNR-ISMAR di Venezia. Esperta del fenomeno di subsidenza (cause naturali/antropiche/contromisure); processi costieri; eustatismo. È nell'elenco degli studiosi italiani che hanno contribuito agli avanzamenti nella metodologia statistica a livello internazionale per le originali metodologie applicate a modelli d'analisi ambientale e agli studi di geostatistica. Già responsabile scientifica e/o co-investigatore di decine di progetti, CNR e non. Dal 1978 componente dell'*International Working Group on Land Subsidence and Environmental Impact* dell'UNESCO, specificamente preposto allo studio dei problemi della subsidenza nel mondo, dov'è stata *Chairman* e oggi *Honorary*

Chairman. Già membro di redazione, corrispondente e referee delle riviste internazionali *Computer & Geosciences* e *Mathematical Geology*; è stata rappresentante del CNR presso gli Organismi scientifici internazionali ICSU (organi scientifici internazionali) e (2000-2008) del CNR nel Consiglio d'Amministrazione del CoRiLa, dove ora è componente esperto del Consiglio Scientifico (Capp. 16-17; Tav. 15).

Alessandro Carraro*, geologo in Martellago (Tav. 7).

Giovanni Battista Castiglioni*, già ordinario di Geografia Fisica e Geomorfologia dell'Università di Padova e coordinatore della Carta Geomorfologica della Pianura Padana (Tav. 9).

Elisa Chiamenti si è laureata in Scienze Ambientali presso l'Università Ca' Foscari di Venezia; successivamente a una serie di collaborazioni con Fondazione Enrico Mattei, Provincia di Venezia e Arpav, lavora dal 2002 presso la Direzione Ambiente del Comune di Venezia, nel Servizio Suolo e Verde Pubblico - Servizio Bonifiche, occupandosi di bonifica di siti contaminati posti in territorio comunale al di fuori del Sito di Interesse Nazionale (Tavv. 6-8).

Enrico Conchetto, laureato in Scienze Geologiche a Padova nel 1994, libero professionista e consulente del Consiglio Nazionale delle Ricerche e del Servizio Geologico della Provincia di Venezia, dal 2006 responsabile all'Autorità d'Ambito "Laguna di Venezia" del settore Idrogeologia e del Sistema Informativo Territoriale. Autore di numerose pubblicazioni e articoli su riviste nazionali ed internazionali inerenti la geologia e l'idrogeologia veneta (Tav. 7).

Albero Coral si è laureato in Scienze Geologiche all'Università di Padova con una tesi mista in geofisica e geomorfologia sulla media valle del Piave. Dal 1985 opera come libero professionista nell'Opitergino - Mottense; s'interessa a livello amatoriale di paleogeografia, viabilità e insediamenti di epoca romana e medievale nella zona citata (Tav. 10).

Annamaria Correggiari, laureata in Scienze Geologiche all'Università di Bologna (1985), è ricercatore presso l'ISMAR - CNR di Bologna. Si occupa di sedimentologia, stratigrafia sismica ad alta risoluzione, studio dei processi sedimentari e caratterizzazione dei fondali dei margini continentali silicoclastici. È responsabile di diversi progetti per la ricerca e la gestione di depositi sabbiosi sommersi potenzialmente sfruttabili per il ripascimento costiero, della carta geologica superficiale nei progetti di Cartografia Geologica dei Mari Italiani e del rilevamento delle porzioni a mare dei fogli della Carta Geologica d'Italia (Cap. 15).

Andrea Crestani, agronomo, nel 1998 frequenta il corso su "Lo sviluppo delle competenze gestionali" presso la SDA Bocconi di Milano. Dal 1999 al 2010 è Direttore provinciale di Coldiretti Grosseto - Treviso - Ferrara e Consigliere delegato delle relative società di servizio (srl) operanti nel settore agricolo. Dal 2010 è Direttore dell'Unione Veneta Bonifiche (Cap. 4).

Andrea Defina è Professore Ordinario di Idraulica presso il Dipartimento IMAGE, Facoltà di Ingegneria dell'Università di Padova dal 2010. Ha insegnato anche presso le università di Udine e di Trieste. Direttore del laboratorio di Idraulica e Costruzioni Idrauliche. L'attività di ricerca si è rivolta, in particolare, alla modellazione matematica sia della propagazione delle piene e dei fenomeni di esondazione che dell'evoluzione morfologica in ambienti fluviali e lagunari (Cap. 18).

Andrea de Götzen, laureato in ingegneria civile idraulica presso l'Università di Padova, dal 1999 lavora presso il Consorzio di Bonifica Pianura Veneta tra Livenza e Tagliamento, ora Veneto Orientale, con sede a San Donà di Piave, dove ricopre il ruolo di Capo Settore Lavori Pubblici. In tale contesto coordina un gruppo di lavoro volto prevalentemente alla progettazione ed esecuzione di interventi di difesa del suolo, tutela del territorio, irrigazione e di riqualificazione ambientale. Svolge funzioni di progettista, Direttore dei Lavori, coordinatore per la sicurezza in fase di progettazione ed esecuzione. Nel 2010 ha svolto un'esperienza di lavoro a termine presso la Provincia di Venezia come Dirigente Tecnico del Servizio Protezione Civile, Difesa del Suolo e Tutela del Territorio, Parchi, boschi e riserve naturali (Cap. 4-18).

Amelia De Lazzari ha conseguito la laurea in Scienze Geologiche nel 1993 presso l'Università di Padova. Attualmente ricercatore presso l'Istituto di Scienze Marine-CNR di Venezia. Il suo settore di ricerca riguarda il ciclo del carbonio in ambiente marino, e in particolare lo studio dei processi relativi al materiale particolato e all'export del carbonio; inoltre, si occupa dello studio biogeochimico del particolato atmosferico e dei suoi flussi in ambiente marino-costiero. Ha partecipato a numerose campagne oceanografiche nell'ambito di progetti nazionali e internazionali (Tavv. 6-10).

Elisa Destro ha conseguito la laurea magistrale in Geologia e Geologia Tecnica presso l'Università di Padova nel 2008. Ha collaborato con ARPAV e le Province di Venezia e Treviso in progetti che si sono occupati della mappatura del potenziale di geoscambio. Attualmente è assegnista del CNR nell'ambito del progetto VIGOR che prevede la valutazione del potenziale geotermico delle regioni Puglia, Calabria, Sicilia e Campania (Cap. 13; Tav. 13).

Eloisa Di Sipio, Dottore di ricerca in Scienze Ambientali (Università Ca' Foscari di Venezia) e laureata in Scienze Geologiche (Università degli Studi di Padova), è attualmente assegnista di ricerca presso l'Istituto di Geoscienze e Georisorse (IGG-U.O.S. di Padova) del CNR. Ha collaborato per diversi anni con l'Università IUAV di Venezia partecipando attivamente a progetti di ricerca europei (ASSET Project 2000-2003, DESALINATION Project 2006-2009) e nazionali (Progetto Corila 2003). Inoltre, è socio fondatore e Vicepresidente dell'Associazione dei Giovani Geologi del Veneto (AGGV) (Cap. 17).

Paolo Fabbri, laureato in Scienze geologiche a Padova, è Professore Associato presso il Dipartimento di Geoscienze dell'Università di Padova, docente di Idrogeologia nel corso di laurea di Scienze e Tecnologie per l'Ambiente e il Territorio, di Analisi di Prove di Pompaggio nel corso di Laurea Magistrale in Geologia e Geologia Tecnica e di Elementi di Geostatistica nella Scuola di Dottorato in Scienze della Terra. Membro della *International Association of Hydrogeologists* (I.A.H.) e dell'*International Association for Mathematical Geology* (I.A.M.G.), è autore e coautore di 40 pubblicazioni su riviste scientifiche internazionali e nazionali che trattano problematiche sulle acque sotterranee (Cap. 12).

Luciano Fantinato*, agronomo ed esperto in Sistemi Informativi Geografici (Tav. 8).

Enrico (Omar) Fagarazzi, geologo, libero professionista in Venezia, collabora con società di progettazione e consulenza tecnica e urbanistica; con Istituzioni Pubbliche in studi di carattere ambientale, stratigrafico e idrogeologico (Tavv. 7-10).

Chiara Fastelli, laureata in ingegneria civile idraulica presso l'Università di Padova, dove ha conseguito anche l'abilitazione professionale. Dopo un'iniziale attività di libero professionista e di docente in scuole secondarie di primo e secondo grado, dal 1990 lavora in Provincia di Venezia, prima al Settore LL.PP. con funzioni di progettista e direttore dei lavori, poi, dal 2001, come funzionario responsabile del Servizio Protezione Civile. In tale ambito si occupa di gestione degli eventi emergenziali, di pianificazione provinciale e comunale di Protezione Civile con particolare riferimento al rischio idraulico. E' componente di numerose Commissioni provinciali/tavoli tecnici in materia di rischio industriale e rischi associati (Cap. 4-18).

Francesco Ferrarese, laureato in Lettere, esperto di Sistemi Informativi Geografici. Lavora dal 2000 al Dipartimento di Geografia dell'Università di Padova. Si occupa soprattutto di realizzazione e analisi DEM (Modelli Digitali del Terreno), morfometria, geomorfologia quantitativa di paesaggi carsici (Cap. 8; Tavv. 9).

Federica Fogliani, laureata in Scienze Geologiche presso l'Università di Bologna (2001) e Msc in GIS and Remote Sensing (2004) presso l'Università di Greenwich (Londra), dal 2005 lavora, in qualità di tecnologo esperto GIS, all'ISMAR - CNR di Bologna. Si occupa di gestione e implementazione di *Geodatabase* contenenti dati geofisici e geologici marini e dell'implementazione di WEB GIS nell'ambito di progetti europei e di cartografia geologica nazionale. Esperta in acquisizione ed elaborazione di dati batimetrici multi fascio e di dati geofisici e geognostici (Cap. 15).

Alessandro Fontana è ricercatore in Geografia Fisica e Geomorfologia presso l'Università di Padova. Si interessa principalmente dell'evoluzione quaternaria degli ambienti alluvionali e costieri considerandone gli aspetti geomorfologici, stratigrafici e geoarcheologici. Si è occupato in dettaglio della pianura veneto-friulana e dell'Adriatico settentrionale durante l'Olocene e il tardo Pleistocene (Cap. 7-8; Tavv. 6-7-8-9-10).

Giorgio Fontolan è professore associato presso l'Università degli Studi di Trieste, dove coordina il Gruppo di Geomorfologia Costiera del Dipartimento di Matematica e Geoscienze. Si occupa di geomorfologia, sedimentologia e dinamica delle coste, di impatto ambientale in aree umide e marine sottocostiere. Ha svolto le sue ricerche prevalentemente in Italia, lungo i litorali adriatici e ionici, ma ha anche partecipato a numerose campagne oceanografiche, di rilevamento e a missioni di consulenza e collaborazione internazionale (MAP UNEP, Ministero degli Esteri, National Geographic) in Albania, Antartide, Argentina, Cile, Emirati Arabi, Tunisia (Cap. 19; Tav. 16).

Gabriele Formentini*, già revisore meteo presso il Centro Meteorologico di Teolo - ARPAV, si occupa dal 1997 di radarmeteorologia. Attualmente lavora in Svezia al Swedish Meteorological and Hydrological Institute in Norrköping (Cap. 11).

Marco Franzoi*, laureato in Scienze geologiche di San Donà di Piave (Tavv. 6-8).

Francesca Furlanetto, laureata in Scienze geologiche a Padova nel 2004, ha collaborato col CNR-ISMAR di Venezia e con la Provincia di Venezia, oltre che per alcune ditte private. Dal 2007 è a Vancouver (Canada) come *PhD student* nel Dipartimento di Scienze della Terra della Simon Fraser University, dove collabora al Progetto "*Sedimentary provenance of the Early Proterozoic Wernecke Supergroup, Wernecke Mountains, Yukon*" (Tav. 10).

Paola Furlanetto, laurea in Lettere classiche, indirizzo archeologico, collaboratore esterno della Soprintendenza dei Beni Archeologici del Veneto, per oltre un decennio (1981÷1994) scheda e riordina reperti archeologici di epoca romana da scavi e raccolte museali, provenienti dal territorio trevigiano, padovano e vicentino. Argomenti di interesse sono soprattutto le centuriazioni e il popolamento della fascia perlagunare in epoca antica e lo studio delle dinamiche insediative in rapporto alla geomorfologia. Negli anni '90 entra a far parte del gruppo di lavoro interdisciplinare geoarcheologico che affrisce al Dipartimento di Geografia dell'Università di Padova e partecipa a progetti di ricerca che hanno prodotto in questi ultimi anni numerose carte e pubblicazioni. Nell'ultimo decennio i suoi studi hanno riguardato soprattutto la laguna di Venezia: dal 2001 è ideatrice e responsabile curatrice della banca dati *Laguna Omnia*, dei siti archeologici identificati da Ernesto Canal e, con Aldino Bondesan, del *Progetto IMAGO*, che ha come finalità la creazione di un data base, *IMAGO*, di cartografia storica, e uno, *FORMA*, degli elementi morfologici, e la ricostruzione paleoidrografica della Laguna e del territorio di gronda nel XVI e XVII secolo (*Capp. 2-3-7; Tavv. 4-9-10*).

Antonio Galgaro è dottore di Ricerca in geologia applicata. Professore aggregato in Geologia Applicata presso l'Ateneo patavino, docente in seminari tecnici in Argentina riguardanti sistemi d'indagine e monitoraggio del territorio. Responsabile scientifico di progetti sul Geoscambio per le Province di Venezia e Treviso, della Regione Veneto e ARPAV (STRIGE) sullo studio delle risorse geotermiche e idrotermali regionali. Responsabile scientifico dell'Unità CNR IGG UOS di Padova delle attività inerenti la geotermia di bassa entalpia nelle regioni Puglia, Calabria, Sicilia e Campania. Si è occupato di intrusione salina negli acquiferi costieri e di ricerche sulle acque sotterranee e di progetti di cooperazione internazionale in Eritrea in collaborazione con il Governo Eritreo e l'ONU; membro della Commissione CTI-UNI per la redazione delle norme UNI nazionali sulla geotermia di bassa entalpia. Autore e coautore di oltre 100 pubblicazioni scientifiche su riviste internazionali e nazionali. Coautore di diverse guide geologiche su percorsi geoturistici nell'area dolomitica, prealpina e dei Colli Euganei (*Capp. 13-17; Tav. 13*).

Andrea Gallerani, laureato in Scienze Geologiche all'Università degli Studi di Bologna (2006), ha avuto prima (2007) un contratto di collaborazione e poi (2008) un assegno di ricerca presso ISMAR - CNR di Bologna. Dal 2009 è Collaboratore Tecnico Enti di Ricerca presso ISMAR - CNR Bologna. Si occupa principalmente di campionatura di sedimenti marini, analisi non distruttive su carote di sedimento, analisi di laboratorio paleomagnetiche, granulometriche e composizionali (*Cap. 15*).

Andrea Garbellini, residente in provincia di Rovigo, geologo libero professionista dal 1995 con attività prevalente nei settori della geologia, geotecnica, idrogeologia, geofisica. Dal 1997 ha collaborato con l'Amministrazione Provinciale di Venezia in merito ai progetti di indagine e studio delle acque sotterranee del territorio portogruarese (*Tav. 11*).

Adriano Garlato*, agronomo, esperto in pedologia dell'ARPAV - Servizio Suoli; coautore della Carta dei suoli della provincia di Rovigo (*Tavv. 6-8*).

Giuseppe Gasparetto Stori, ingegnere idraulico, lavora dal 1987 per il Consorzio di bonifica Adige Bacchiglione, ora Adige Euganeo. Oltre alla gestione e progettazione delle

opere idrauliche del consorzio, dai primi anni '90 ha studiato con esperti universitari e applicato per primo in Italia la fitodepurazione delle acque superficiali su grande scala. Ha rappresentato l'ente in importanti ricerche sulla subsidenza delle torbe e sull'intrusione salina in falda. Dirigente tecnico del nuovo Consorzio di bonifica (*Cap. 16*).

Massimo Gattolin, laureato in Fisica all'Università di Padova (1994), dopo un periodo di collaborazioni con l'Università IUAV di Venezia, con la Sezione di Fisica Ambientale del Presidio Multizonale di Prevenzione dell'ULSS 12 di Venezia (ora ARPAV) e col CNR-ICTIMA di Padova, lavora dal 1996 in Provincia di Venezia, dov'è attualmente dirigente del Settore Politiche Ambientali - Servizio Geologia, Difesa del Suolo e Tutela del Territorio - Protezione Civile. Si è occupato in particolar modo di autorizzazioni a impianti con emissioni in atmosfera da insediamenti produttivi, gestione dei rifiuti e loro pianificazione; scarichi idrici da impianti industriali; inquinamento acustico; indicatori di sostenibilità; mobilità sostenibile; parchi; reti ecologiche; V.I.A.; V.INC.A.; Bonifiche; A.I.A. (*Cap. 20*).

Vittorio Gennari* è geologo in Portogruaro (*Tav. 10*).

Pier Francesco Ghetti è stato docente a Ca' Foscari (Professore Ordinario di Ecologia, Preside della Facoltà di Scienze MM.FF.NN. dal 1996 al 2001 e Rettore dal 2003 al 2009); la sua attività scientifica ha riguardato l'Ecologia degli ambienti acquatici (fiumi, laghi, lagune), gli Indicatori biologici della qualità degli ambienti acquatici, l'Ecotossicologia, l'Analisi integrata del paesaggio, la Valutazione di Impatto Ambientale, i Processi di fitodepurazione delle acque reflue, l'Analisi della Sostenibilità Ambientale e la Didattica dell'ecologia. E' autore di 44 volumi monografici e di 193 pubblicazioni scientifiche a stampa. Membro o responsabile di varie commissioni pubbliche su temi ambientali presso Ministeri, Regioni e vari altri enti pubblici. Attualmente è assessore al Piano strategico, alla Protezione Civile e alla Sicurezza del Territorio del Comune di Venezia e Presidente del Centro Internazionale Civiltà dell'Acqua (*Cap. 18*).

Paolo Giandon è laureato in scienze agrarie presso l'Università degli Studi di Udine nel 1988; si è occupato di analisi chimico-fisiche e di cartografia dei suoli prima presso l'Ente di Sviluppo Agricolo del Veneto, fino al 1998, e poi nell'ARPAV, in cui oggi è responsabile del Servizio Suoli che ha realizzato la carta dei suoli del Veneto in scala 1:250.000 e sta completando la carta dei suoli di pianura in scala 1:50.000 (*Cap. 6; Tavv. 6-8*).

Giuseppe Gisotti, geologo e forestale, è stato funzionario del Corpo Forestale dello Stato e poi dirigente del Servizio Geologico d'Italia. Membro della Commissione VIA del Ministero dell'Ambiente, è docente di scienza del suolo e di geografia dell'ambiente e del paesaggio. Ha rappresentato il Governo nelle delegazioni ambientali presso l'OCSE e la UE, e il Servizio Geologico in *Eurogeosurveys*. E' consulente tecnico per Pubbliche Amministrazioni e per la Magistratura. E' autore di volumi inerenti la scienza del suolo, la valutazione d'impatto ambientale, il dissesto idrogeologico, le problematiche dell'inquinamento, lo studio del paesaggio. Studioso di interazioni tra l'attività umana e l'ambiente, è considerato un antesignano della materia. E' presidente della SIGEA Società Italiana di Geologia Ambientale (*Cap. 7*).

Lucia Gobbo, laureata Scienze Geologiche presso l'Università di Padova (1987), geologo libero professionista si è specializzata in Sistemi Informativi Territoriali. Negli anni ha collaborato alla realizzazione di studi a carattere geolo-

gico-ambientale per la Provincia di Venezia, per la Regione Veneto e per altri Enti pubblici. Attualmente è consulente libero professionista del Servizio Informativo del Magistrato alle Acque di Venezia (Tav. 7).

Giuseppe Goisis è nato a Venezia, dove risiede e lavora. Professore ordinario di Filosofia politica all'Università Ca' Foscari di Venezia, collabora a importanti istituzioni culturali, come la Fondazione "A. Del Noce" di Savigliano e la SEC (Società Europea di Cultura). È autore di dodici libri e di circa duecento articoli d'indole scientifica; fra i libri più recenti: *Un amore più grande* (2005), *Camminando lungo il crinale* (2006), *Laicità possibili* (2007) e *Il pensiero politico di A. Rosmini e altri saggi fra critica ed Evangelo* (2009) (*Conclusioni*).

Dario Grillo si è laureato in Scienze Geologiche presso l'Università di Padova, ha maturato esperienze lavorative nel settore delle indagini geognostiche e geotecniche e come libero professionista. Insegna Chimica e Tecnologia presso l'Istituto d'Arte di Venezia (Tav. 7).

Vittorio Iliceto* († 2011), geologo, specializzatosi in geofisica alla Sorbona di Parigi, è stato docente di Fisica Terrestre e Prospezioni Geofisiche nella Facoltà di Scienze dell'Università di Padova e anche nelle Università di Ferrara (Scienze), di Bologna (Ingegneria), di Venezia (Scienze Ambientali) e di Mogadiscio - Somalia. Autore di oltre cento lavori scientifici in riviste nazionali e internazionali e responsabile di progetti di ricerca pure nazionali e internazionali. Membro di numerose Associazioni scientifiche internazionali di Geofisica. Presidente dei Geologi veneti (1976÷83), poi componente del Consiglio Nazionale dei Geologi (1984÷91; 1994÷97). Segretario-Tesoriere della Federazione Europea dei Geologi ("European Federation of Geologists - FEG") a Parigi (1990÷92); poi Presidente della Sezione europea della Società di geofisica ambientale e ingegneristica - EEGS - ES "European Section of Environmental an Engineering Geophysical Society - USA" (1997÷2000). Attività professionale di alto livello in Italia e all'estero soprattutto nel campo geofisico (Cap. 10).

Chiara Levorato ha conseguito la laurea in Scienze Naturali nel 2002 presso l'Università di Padova con una tesi di geomorfologia sulla bassa pianura padovana. Attualmente impiegata in uno studio di geologia, negli anni successivi si è occupata di geomorfologia di pianura, microrilievo, uso del suolo e cartografia storica, collaborando a progetti condotti da diversi enti tra i quali ARPAV, Consorzio Venezia Nuova, Provincia di Venezia e Università di Padova. Ha operato all'interno di gruppi di ricerca maturando esperienza anche attraverso la realizzazione di pubblicazioni specifiche (Cap. 9; Tavv. 2-3).

Lucia Lovison-Golob si è laureata in Scienze geologiche a Padova (1976); geologa presso due Comunità Collinari friulane, è stata promotrice e partecipante alla metodologia di valutazione del rischio geomorfologico e sismico della regione epicentrale del terremoto del Friuli del 1976 e ha partecipato alla fondazione della Protezione Civile in Italia (1976-78). Assistente al Dipartimento di Geologia dell'Università di Milano, ha poi lavorato fino al 1984 all'AGIP, identificando due campi a gas metano in Adriatico, ora in produzione. Trasferitasi negli U.S.A., consegue il Master in Geofisica ad Harvard (1986), Università in cui lavora dal 1987 occupandosi di vari argomenti, ma in particolare di GIS e divulgazione cartografica e geografica. Dal 2005 è direttore di *Afriterrra Foundation* in cui, tra l'altro, si occupa della creazione di mappe digitali georeferenziate e loro integrazione

in applicazioni di GIS e *remote sensing*. Eccellenza per insegnamento (Harvard, 1999) e in GIS (ESRI, 2002). *Co-chair* del Gruppo di Lavoro su "Open Data Access and Intellectual Property Rights for Cartography" dell'Associazione Cartografica Internazionale (2007-2011) (Cap. 20).

Lucia Macaluso si è laureata in Scienze Ambientali all'Università Ca' Foscari di Venezia, con la Tesi: «Analisi geoambientale di un territorio della bassa Pianura Veneta: Sezione 127140 "Mira Taglio" - Aspetti geomorfologici, geolitologici, geopedologici e idrogeologici», ha in seguito conseguito, sempre a Ca' Foscari, il Dottorato di Ricerca con la Tesi: «Sviluppo di Banche di Dati Ambientali», elaborata presso l'Istituto Veneto di Scienze Lettere ed Arti di Venezia dove tuttora svolge la sua attività lavorativa. Attualmente si occupa, sotto diversi profili, di divulgazione scientifica. In particolare cura la segreteria organizzativa di scuole di specializzazione, *workshop* e conferenze su svariate tematiche scientifiche, occupandosi anche della presentazione degli argomenti e della diffusione dei materiali (testi, ipertesti, video) su *web* (Tavv. 6-8).

Piero Magazzini*, pedologo, già collaboratore di Agristudio Srl di Firenze (Tavv. 6-8).

Sara Magri ha conseguito nel 2000 la laurea in Scienze Naturali presso l'Università di Padova con una tesi in scienze e tecnologie per l'ambiente "Studio dell'antica idrografia dell'area di Porto Marghera attraverso la foto interpretazione e l'analisi cartografica". Collabora con enti pubblici e privati come operatore GIS per l'aggiornamento di banche dati territoriali e predisposizione di cartografie tematiche, in particolare degli elementi morfologici, naturalistici e archeologici della Laguna di Venezia. Si occupa, inoltre, di georeferenziazione e digitalizzazione di carte storiche e foto aeree (Tav. 9).

Enrico Marconato si è laureato in Scienze Biologiche presso l'Università di Padova, specializzandosi nello studio delle comunità ittiche ed è autore di numerose pubblicazioni scientifiche e testi divulgativi. Collabora con numerosi enti pubblici, università e istituti di ricerca, sia in Italia che all'estero. E' co-fondatore e presidente della Aquaprogram srl di Vicenza, società che da parecchi anni si occupa delle problematiche relative alla gestione degli ecosistemi acquatici (Cap. 17).

Andrea Mazzucato si è laureato in Scienze Geologiche presso l'Università di Padova, dove ha ottenuto anche l'abilitazione professionale; in seguito si è specializzato nell'applicazione della tecnologia GIS a problematiche sia ambientali sia geologiche. Da alcuni anni collabora con il Servizio Geologico della Provincia di Venezia occupandosi principalmente degli aspetti geologico applicativi e informativi (Capp. 5-14-15-16; Tavv. 7-10-12-15; collaborazione al curatore; allestimenti cartografici delle tavole).

Mirco Meneghel, laureato in Scienze Geologiche, già professore associato di Geografia fisica e Geomorfologia presso la Facoltà di Scienze matematiche fisiche e naturali dell'Università di Padova, ha compiuto ricerche di morfologia fluviale, carsologia, glaciologia e cartografia geomorfologica in Italia e all'estero. E' autore di un centinaio di pubblicazioni scientifiche (Cap. 7; Tavv. 9-10).

Marco Monai è dirigente meteorologo presso l'Agenzia Regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale del Veneto (ARPAV). Autore di pubblicazioni scientifiche e divulgative, ha partecipato a diverse iniziative nazionali ed internazionali, inclusi i progetti europei, afferenti la mete-

orologia previsionale, la radarmeteorologia, la climatologia (Cap. 11).

Paolo Mozzi, geologo e ricercatore all'Università di Padova, Dipartimento di Geografia, si occupa di geomorfologia e geologia del Quaternario, con applicazioni nei campi della geoarcheologia, pedologia e paleopedologia, telerilevamento e GIS. La sua attività di ricerca riguarda principalmente l'evoluzione tardo-quadernaria dei sistemi alluvionali, con particolare attenzione alle relazioni tra l'evoluzione paleoambientale e il popolamento umano antico. Ha svolto ricerche nella pianura veneto-friulana, in Portogallo, in Turkmenistan e in Burkina Faso (Capp. 7-8; Tavv. 6-7-8-9-10).

Luigi Nalesso*, pedologo, già collaboratore di Agristudio Srl di Firenze (Tavv. 6-8).

Andrea Ninfo, laureato in Scienze Naturali e Dottore di Ricerca, dal 2009 è assegnista di Ricerca presso il Dipartimento di Geografia di Padova ed è stato docente a contratto di Cartografia. Si occupa dell'applicazione di metodologie informatiche alla geomorfologia ed è esperto di telerilevamento, GIS e misurazioni topografiche di precisione (GPS e LiDAR). Si occupa di casi riguardanti ambienti alpini e prealpini, desertici e di piana alluvionale (Cap. 8).

Antonella Paci*, laureata in Scienze ambientali all'Università di Venezia (Tavv. 6-8).

Monica Petta ha conseguito nel 2008 la laurea triennale in Scienze Geologiche presso l'Università di Padova, con una tesi riguardante una cartografia geomorfologica da *remote sensing*, utilizzata nell'ambito del "Progetto El Alamein" (Egitto); è stata prima stagista e poi collaboratore del Servizio Geologico, Difesa del Suolo e Tutela del Territorio e assistente in cantiere presso uno studio privato. Attualmente frequenta il corso di laurea magistrale in Geologia e Geologia Tecnica a Padova (Tav. 7).

Roberto Piazza*, responsabile della P.O. Opere di bonifica e difesa dei litorali della Direzione Difesa del Suolo della Regione del Veneto (Cap. 15).

Andrea Pilli si è laureato presso l'Università Ca' Foscari di Venezia e ha poi abbinato l'attività professionale alla ricerca conseguendo presso la stessa università il titolo di dottore di ricerca in Scienze Ambientali con una tesi nel campo dell'idrogeologia. È attualmente responsabile del settore Ambiente e Territorio di Net Engineering Spa e ha ricoperto il ruolo di professore a contratto di Idrologia e Idrogeologia all'Università Ca' Foscari (Cap. 17).

Simone Pillon è assegnista di ricerca presso il Dipartimento di Geoscienze dell'Università di Trieste. Si occupa principalmente di morfodinamica e sedimentologia delle aree costiere (spiagge, lagune, bocche tidali e avandune), difesa e riqualificazione ambientale di aree costiere, vulnerabilità costiera e GIS. Ha partecipato a numerose campagne di rilievi topografici, batimetrici e sedimentologici, nelle spiagge del Veneto e del Friuli Venezia Giulia. Si occupa abitualmente dell'elaborazione dei dati topografici, batimetrici e sedimentologici raccolti e della loro restituzione in ambiente GIS, tramite la creazione di mappe tematiche ed elaborazioni geostatistiche (Cap. 16).

Tiziano Pinato*, ingegnere, lavora dal 1987 in Regione Veneto (dal 1994 come dirigente ingegnere); attualmente ricopre il ruolo di dirigente della Direzione Difesa del Suolo della Regione del Veneto. Si è occupato di gestione di tutte le problematiche inerenti l'ambiente, i LL.PP., i trasporti e il

territorio in generale. Componente di svariate commissioni giudicatrici di appalti di opere pubbliche. È stato progettista, direttore dei lavori, responsabile del procedimento e collaudatore di opere pubbliche quali strade, case di riposo, opere edilizie, opere idrauliche, fognature e acquedotti, depuratori, opere in cemento armato, edilizia funeraria, impianti tecnologici e di telecontrollo, restauri di opere monumentali (Cap. 15).

Silvia Piovan* è ricercatrice alla Facoltà di Lettere e Filosofia dell'Università di Padova. Come argomenti di ricerca si occupa del rapporto Uomo - Ambiente durante il tardo Olocene in contesti di pianura alluvionale, di paleogeografia e paleoidrografia della Pianura Veneta meridionale e di geoarcheologia della Pianura Padana - Atestina (Tav. 10).

Marco Piragnolo* è laureato (2007) all'Università di Padova in Scienze Naturali (vecchio ordinamento) con indirizzo "Conservazione della natura e delle risorse naturalistiche". Come professionista fa campionamenti e monitoraggio di matrici ambientali. Si occupa inoltre di divulgazione storico/scientifica, lezioni e laboratori didattici per le scuole (Tav. 10).

Massimo Pizzato si è laureato nel 2003 in Pianificazione Territoriale, Urbanistica e Ambientale presso l'IUAV di Venezia. Attualmente in servizio presso il Servizio Pianificazione Territoriale e Urbanistica della Provincia di Venezia, dove segue in particolare l'*iter* di approvazione dei Piani di Assetto del Territorio (PAT) comunali e la Pianificazione Strategica. Come libero professionista in passato ha partecipato alla redazione di PAT curandone in particolare la VAS. Ha collaborato alla redazione del PTCP di Venezia di cui ha redatto anche la Valutazione d'Incidenza (Tav. 4).

Sandra Primon è laureata in Scienze Geologiche all'Università di Padova (1988). Libero Professionista, è esperta di geologia di pianura, telerilevamento e fotointerpretazione applicati alla geomorfologia delle aree costiere e all'archeologia. Si interessa in particolare della genesi ed evoluzione della pianura Veneto-Friulana e della Laguna di Venezia (Capp. 7-8; Tavv. 6-7-9-10; collaborazione al curatore).

Roberta Racca ha conseguito, nel 2001, la laurea in Scienze Naturali presso la Facoltà di Scienze MM. FF. NN. di Padova, con una tesi sperimentale nell'ambito della valutazione dei rischi ai fini della pianificazione di Protezione Civile dal titolo "*Il rischio da mareggiate nell'arco litoraneo tra foce Piave e foce Tagliamento*". Dal 2001 al 2006 ha prestato servizio presso la Provincia di Venezia - Ufficio Protezione Civile-Settore Tutela e Valorizzazione del Territorio. Tra il 2001 e il 2007 ha ricevuto diversi incarichi professionali in ambito di Pianificazione di comunale Protezione Civile. Dal 2006 inizia la sua collaborazione con ARPAV - Centro Meteorologico di Teolo (PD), diventando di ruolo nel 2009, come componente dello *staff* previsori meteorologici del Centro (Cap. 11).

Francesca Ragazzi è laureata in scienze agrarie presso l'Università degli Studi di Padova nel 1989, si è occupata di pedologia e cartografia dei suoli dal 1995, presso l'Ente di Sviluppo Agricolo del Veneto, e dal 1998 nell'ARPAV. Ha partecipato alla realizzazione della carta dei suoli del Veneto in scala 1:250.000 ed è autrice della carta dei suoli del bacino scolante in laguna di Venezia in scala 1:50.000 e della carta dei suoli della provincia di Venezia in scala 1:50.000 (Cap. 6; Tavv. 5-6-8-10).

Stefano Raimondi*, dottore in Scienze Geologiche, qualifica di II° livello di Pedologo, specialista in rilevamento e cartografia dei suoli (Tavv. 6-8).

Francesco Rech*, laureato in Scienze forestali, lavora da molti anni all'ARPAV - Centro Meteorologico di Teolo dov'è attualmente responsabile in materia di Telerilevamento e Climatologia (*Cap. 11*).

Alessandro Remia, laureato in Scienze Geologiche (2000), dal 2007 è Tecnologo presso ISMAR - CNR di Bologna. Dopo gli studi iniziali dedicati alla genesi e diagenesi dei sedimenti biogenici e carbonati derivati di ambiente afotico in mari temperato-freddi, ha successivamente rivolto l'interesse scientifico e tecnologico allo studio stratigrafico-sequenziale della piattaforma adriatica continentale, alla mappatura geologica marina e agli aspetti applicativi, quali quelli legati all'individuazione e caratterizzazione dei corpi sabbiosi di piattaforma per il loro eventuale uso nel ripascimento dei litorali (*Cap. 15*).

Francesca Ronchese si è laureata in Scienze Naturali all'Università di Padova con una tesi di paleogeografia. Ha seguito il corso di Ecologia Umana e di Tecnico V.I.A. Ha collaborato con la Provincia di Venezia per l'elaborazione dei piani comunali di Protezione Civile. Per tradizione familiare si interessa di cartografia antica e di archeologia (*Cap. 2; collaborazione al curatore*).

Andrea Rosina ha conseguito nel 2004 la laurea in Scienze Geologiche presso l'Università di Padova con una tesi sull'assetto idrogeologico del versante sud-occidentale dei Colli Euganei e successivamente un *master* universitario di II° livello in Sistemi Informativi Geografici presso l'Università IUAV di Venezia. Ha collaborato dal 2006 al 2009 con il Servizio Geologico della Provincia di Venezia e attualmente lavora presso CORILA (consorzio per la gestione delle ricerche ambientali in laguna di Venezia) occupandosi di progetti sulla condivisione di dati scientifici ambientali. Con altri soci, nel 2009 ha dato vita all'associazione scientifico-culturale "il Reggipoggio", di cui è il presidente, con lo scopo di divulgare la cultura geologica all'interno della tutela ambientale (*Cap. 1; Tavv. 1-4*).

Roberto Rosselli, ingegnere, è il dirigente del Servizio Informativo del Consorzio Venezia Nuova, concessionario unico del Magistrato alle Acque di Venezia. Con l'obiettivo della realizzazione del "Sistema per la gestione dell'ecosistema lagunare", il Servizio Informativo si occupa prevalentemente di: Laboratori d'analisi; Gestione di attrezzature informatiche e di rete; Rilievi morfologici; Monitoraggio ambientale; Informazione e comunicazione; Banche dati territoriali e sistemi di supporto; Telerilevamento; Interscambio di dati territoriali (*Cap. 7; Tav. 9*).

Paolo Rosetti* è agronomo in Ravenna ed esperto in GIS (*Tav. 1*).

Tania Rossetto, ricercatrice del Dipartimento di Geografia dell'Università di Padova, ha insegnato Geografia culturale presso l'ateneo patavino e l'Università Ca' Foscari di Venezia dal 2006 al 2010. Ha partecipato a diversi progetti di ricerca indagando la percezione del paesaggio attraverso metodologie di ricerca visuali e ha pubblicato contributi su geo-iconografie, sistemi di apprezzamento estetico, immaginari letterari dei paesaggi veneti (*Cap. 9*).

Antonio Rusconi, laureato a Padova in ingegneria civile e con diploma di specializzazione *post lauream* in idraulica sperimentale, ha percorso la carriera al Ministero dei Lavori Pubblici, come ingegnere del Genio Civile, collaborando presso gli Uffici del Trento, Bolzano, Udine e presso il Magistrato alle Acque di Venezia. E' stato Direttore dell'Ufficio

Idrografico di Venezia, e quindi a Roma, nel 1989, ha ricoperto l'incarico di Direttore del Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale presso la Presidenza del Consiglio. Nel 1999 è stato nominato Segretario Generale dell'Autorità di Bacino dei fiumi dell'Alto Adriatico e quindi, con il grado di Dirigente Generale, ha prestato servizio presso l'APAT, a Roma. Nel 2007 è stato chiamato a far parte della Commissione Nazionale VIA-VAS presso il Ministero dell'Ambiente. Dal 1995 è docente a contratto di "Assetto idrogeologico" presso la Facoltà di Pianificazione del Territorio dell'Università IUAV di Venezia. Membro del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici per diversi anni, è stato "giudice tecnico" presso il Tribunale delle Acque della Corte d'Appello di Venezia. E' autore di alcuni libri e di oltre 120 pubblicazioni scientifiche sulla difesa del suolo, il governo delle acque e la salvaguardia della laguna veneta (*Cap. 18*).

Vanna Maria Sale*, pedologa, già collaboratrice di I.TER s.c.a.r.l. di Bologna, attualmente lavora all'ERSAF - Ente Regionale per i Servizi all'Agricoltura e alle Foreste della Regione Lombardia (*Tavv. 6-8*).

Fabio Sammichieli* si è laureato a Firenze in Scienze agrarie (1983); ha un'esperienza trentennale all'interno della Agristudio Srl di Firenze come specialista nel settore del rilevamento, cartografia dei suoli e a varie tematiche ambientali; ha avuto numerose esperienze nella gestione di progetti di sviluppo agricolo a finanziamento internazionale in paesi in via di sviluppo (*Tavv. 6-8*).

Filippo Sarti*, agronomo esperto in rilevamento dei suoli (*Tavv. 6-8*).

Paolo Sivieri*, geologo, è titolare dell'impresa Geoservizi Srl di Treviso, società specializzata in indagini geognostiche e geotecniche, geotermia, indagini ambientali, prove non distruttive su pali di fondazione, monitoraggio (*Tav. 10*).

Tazio Strozzi ha conseguito il titolo di Dottore di ricerca in Scienze Naturali presso l'Istituto di Fisica Applicata dell'Università di Berna (Svizzera) e da più di quindici anni lavora come ricercatore presso Gamma Remote Sensing AG (Gümligen, Svizzera). I suoi campi di interesse riguardano la tecnica dell'interferometria radar per la misura degli spostamenti della superficie terrestre (*Cap. 16; Tav. 15*).

Pietro Teatini è funzionario scientifico presso il DMMMSA dell'Università di Padova e ricercatore associato a ISMAR-CNR. Membro dell'UNESCO *Working Group on Land Subsidence*, vincitore del Premio Internazionale "Paolo Gatto" per la modellizzazione del sistema acquifero sottostante la Laguna di Venezia. I principali interessi di ricerca sono relativi allo sviluppo e applicazione di modelli agli elementi finiti per la simulazione dei processi di flusso/trasporto in acquiferi e della subsidenza naturale ed antropica. E' autore di 60 articoli scientifici su riviste internazionali (*Capp. 16-17; Tav. 15*).

Luigi Tosi, laureato in Scienze Geologiche, è ricercatore CNR presso l'Istituto di Scienze Marine di Venezia (già ISDGM). Ha partecipato ad oltre quaranta progetti di ricerca, venticinque sotto la sua responsabilità scientifica. E' stato direttore dei Fogli Geologici "Venezia" e "Chioggia-Malamocco" nel progetto di Cartografia Geologica Nazionale (CARG). I suoi principali temi di ricerca sono i processi di subsidenza e di intrusione salina, la geologia del tardo Quaternario e le ricerche mirate alla conoscenza dell'impatto dei processi naturali ed antropici sui cambiamenti ambientali olocenici, con particolare riguardo all'Antropo-

cene, nelle aree costiere. Ha scritto oltre 200 pubblicazioni scientifiche di cui circa 40 ISI (*Cap. 16-17; Tav. 15*).

Gilmo Vianello è Professore Ordinario in Pedologia presso la Facoltà di Agraria dell'Università di Bologna. Ha al suo attivo più di 200 pubblicazioni su riviste nazionali e internazionali su tematiche riguardanti la formazione e l'evoluzione pedogenetica, la contaminazione e il degrado dei suoli, l'uso del suolo, le rappresentazioni del territorio mediante sistemi cartografici, di *remote sensing* e GIS. Presidente del Corso di Laurea Magistrale in Progettazione e Gestione degli Ecosistemi Agroterritoriali. Responsabile scientifico del C.S.S.A.S. - Centro Sperimentale per lo Studio e l'Analisi del Suolo. Componente del Comitato consultivo tecnico scientifico per l'Osservatorio Nazionale Pedologico e per la qualità del suolo agricolo e forestale del Ministero delle Politiche Agricole e Forestali. Accademico ordinario dell'Accademia Nazionale di Agricoltura (*Cap. 5*).

Alessandro Vidali*, geologo in San Donà di Piave (*Tav. 10*).

Ialina Vinci, laureata in scienze agrarie presso l'Università degli Studi della Tuscia (VT) nel 1990, si è occupata di pedologia e cartografia dei suoli dal 1995, presso l'Ente di Sviluppo Agricolo del Veneto, e dal 1998 nell'ARPAV, in cui oggi è responsabile della banca dati dei suoli del Veneto. È autrice della carta dei suoli del Veneto in scala 1:250.000 e della carta dei suoli del bacino scolante in laguna di Venezia in scala 1:50.000 (*Tavv. 6-8*).

Andrea Vitturi, geologo, ha lavorato in Algeria (1971-74) al LNTPB (Min. LL.PP. algerino) prima al Servizio Sondaggi e poi al Servizio Geologico (geologia applicata e geotecnica, a carattere sia puntuale che di ampio respiro; direzione dell'Inventario generale delle cave di tutta l'Algeria). Ha poi esercitato come professionista all'estero (Algeria, Egitto) e in Italia (cofondatore della Tecnogeo di Vicenza) occupandosi principalmente di idrogeologia e geologia ambientale (1975-80). Dal 1980 al 2009 è stato geologo in Provincia di Venezia, prima come funzionario poi (1992-2009) come dirigente del Servizio Geologico, Difesa del Suolo e Protezione Civile; ha diretto anche altri Settori (Caccia e Pesca, Polizia Provinciale, Sviluppo Agricolo, Controllo inquinamento suolo, Trasporti). Responsabile, nell'ambito della Provincia, di numerosi progetti tra cui quelli relativi alla "Collana degli studi geologici e di difesa del suolo della provincia di Venezia". Da ottobre 2009 è in pensione. Segretario dell'Ordine Nazionale Geologi - C.C.R. Veneto (1975-82), poi Presidente (1985-89). Componente effettivo della Commissione per la salvaguardia di Venezia presso la Regione del Veneto (2004-2010). Già responsabile nel Triveneto della SIGEA (Società Italiana di Geologia Ambientale), è dal 2010 componente del suo Direttivo nazionale. Autore o coautore o curatore di oltre 50 pubblicazioni (*Premessa; Capp. 2-7-8-11-12-15-16-17-18-20; Tavv. 5-6-7-8-9-10-12-15; curatore dell'Atlante geologico*).

Paola Zamarchi è laureata in scienze forestali presso l'Università degli Studi di Padova nel 1998, si occupa di pedologia e cartografia dei suoli dal 2001 presso l'ARPAV. Ha partecipato alla realizzazione della carta dei suoli del Veneto in scala 1:250.000 ed è autrice delle carte dei suoli della provincia di Venezia e della provincia di Treviso in scala 1:50.000 (*Cap. 6; Tavv. 6-8*).

Michele Zanetti, presidente dell'Associazione Naturalistica Sandomatese, è autore di alcuni volumi su temi naturalistici; tra questi "Boschi e alberi della Pianura veneta orientale" (1985), "Flora notevole della Pianura veneta orientale"

(1986), "Il fosso, il salice, la siepe" (1988), "Il bosco Olmè di Cessalto" (1989), "Il Piave, fiume vivente" (1995). Ha collaborato alla redazione di importanti volumi scientifico-divulgativi, tra cui "Laguna di Venezia" (1995), "Sile" (1999), "Piave" (2001), "Lago di Garda" (2002), "Brenta" (2003), "Tagliamento" (2006). Si occupa inoltre di didattica delle scienze naturali e ha svolto un'intensa attività di formazione e di divulgazione rivolta ai docenti. È autore o coautore di alcuni volumi-guida ad aree di grande interesse naturalistico, quali la "Laguna di Venezia", il "Parco Nazionale dei Monti Sibillini", il "Parco Naturale delle Dolomiti Friulane", il "Parco Nazionale del Pollino", il "Parco Naturale Regionale delle Dolomiti d'Ampezzo" e il "Monte Baldo". Tra le sue opere di narrativa "Storie d'acqua. Racconti di fiume e di laguna", "Il naufrago e altre storie di animali e uomini" e "Il segreto della Val di Nebbia. 8 racconti di montagna". Ha inoltre pubblicato alcuni volumi fotografici e realizzato mostre fotografiche sul paesaggio (*Capp. 4-7*).

Pietro Zangheri è geologo e Dottore di Ricerca in Idrogeologia, docente a contratto presso la Facoltà di Scienze dell'Università di Padova - corso di laurea in Scienze Geologiche. Svolge attività di libero professionista prevalentemente nel campo delle risorse idriche e del risanamento dei siti contaminati. È autore di una quarantina di articoli scientifici su riviste nazionali e internazionali e di varie pubblicazioni di divulgazione scientifica (*Capp. 12-14-15; Tavv. 11-12; collaborazione al curatore*).

Franco Zardini si è laureato in Fisica presso l'Università di Padova nel 1990, con una tesi sulla serie storica delle temperature a Padova. Ha poi lavorato nel campo della meteorologia e della radarmeteorologia presso il Dipartimento per l'Agrometeorologia della Regione Veneto, con sede a Teolo, dapprima come collaboratore e poi, dal 1997, come dipendente. Dal 2001 è responsabile dell'Ufficio Previsioni del Centro Meteorologico di Teolo dell'ARPAV. Ha seguito la costituzione e l'entrata in funzione del Centro Funzionale Decentrato della Regione Veneto per quanto riguarda gli aspetti dell'allertamento meteorologico (*Cap. 11*).

Chiara Zogno si è laureata in Scienze geologiche a Padova nel 2008; da allora è borsista di ricerca per lo studio idrogeologico "Progetto IDRO" presso il Dipartimento di Geoscienze dell'Università di Padova e il Servizio Geologico della Provincia di Venezia (*Tavv. 6-7*).

Gianmaria Zuppi († 2011) è stato Professore all'Università di Torino e all'Università di Parigi Sud - Orsay, dove ha ricoperto anche l'incarico di direttore del Laboratorio di idrologia e geochimica isotopica. È stato Professore Ordinario di Idrogeologia all'Università Ca' Foscari di Venezia e direttore dell'istituto di Geologia Ambientale e Geoingegneria del CNR. È stato Vice Presidente della Società Geologica francese. In parallelo all'attività accademica ha operato come esperto delle Nazioni Unite (AIEA, FAO, UNESCO, UNDP, OMM) per i problemi di idrogeologia e geologia isotopica nei paesi in via di sviluppo (*Cap. 17*).

* Curriculum redatto dal Curatore dell'Atlante geologico.

TAVOLA DELLE ABBREVIAZIONI

A.A.T.O.	Autorità d'Ambito Territoriale Ottimale	MIS	<i>Marine Isotopic Stage</i>
a.C.	avanti Cristo	MIUR	Ministero Istruzione, Università, Ricerca
A.G.I.	Associazione Geotecnica Italiana	Mns	Manoscritto
APAT	Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici	M.S.K.	Scala sismica Medvedev - Sponheuer - Karnik
ARPAV	Azienda Regionale per la Prevenzione e la Protezione Ambientale del Veneto	MURST	Ministero dell'Università e della Ricerca Scientifica e Tecnologica
ASP	Ampiezza della spiaggia emersa	NAUSICAA	Nucleo Archeologia Umida Subacquea Italia Centro Alto Adriatico
ASVE	Archivio di Stato di Venezia	N.d.A.	Nota dell'Autore
AWC	<i>Available Water Capacity</i> (Riserva idrica disponibile)	OO.MM.	Opere Marittime
BP	<i>Before Present</i>	OPCM	Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri
CARG	Cartografia Geologica	p.	Pagina
CGPS	GPS in continuo	pp.	Pagine
CIL	<i>Corpus inscriptionum Latinarum</i> I-XVII (1863-1986)	PAI	Piano per l'Assetto Idrogeologico
CMT	Centro Meteorologico di Teolo (PD)	PAT	Piano d'Assetto del Territorio
COP	Coefficiente di Prestazione	PCM	Presidente del Consiglio dei Ministri
CNR	Consiglio Nazionale delle Ricerche	PF	Pendenza dei fondali
CRs	Riflettori artificiali (<i>Corner Reflectors</i>)	PFG	Progetto Finalizzato Geodinamica
CSC	Concentrazioni Soglia di Contaminazione	PGA	Accelerazione orizzontale di picco
CTR	Carta Tecnica Regionale	PI	Piano degli Interventi
CTRN	Carta Tecnica Regionale Numerica	PPAI	Progetto di Piano per l'Assetto Idrogeologico
CVN	Consorzio Venezia Nuova	PPE	Piano Provinciale d'Emergenza
d.C.	dopo Cristo	PRAC	Piano Regionale per l'Attività di Cava
DGPS	GPS differenziale	PRG	Piano Regolatore Generale
DGR - DGRV	Delibera della Giunta Regionale (Veneta)	PRRA	Piano Regionale di Risanamento delle Acque
D.Lgs.	Decreto Legislativo	P.T.A.	Piano di Tutela delle Acque (della Regione del Veneto)
D.M.	Decreto Ministeriale	PTCP	Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale
D.O.C.	Denominazione di Origine Controllata	PTP	Piano Territoriale Provinciale
D.P.C.M.	Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri	PTRC	Piano Territoriale Regionale di Coordinamento
D.P.R.	Decreto del Presidente della Repubblica	PU	Pressione d'uso
ds.	Disegno	R.D.	Regio Decreto
EMS	Scala sismica <i>European Macroseismic Scale</i>	RV	Regione del Veneto
E.R.A.	Estensione Rete Altimetrica ISES	S.A.U.	Superficie Agraria Utilizzata
ERR	Evoluzione recente della linea di riva	Sea	Savi ed esecutori alle acque
ERT	Tomografia della resistività elettrica	S.E.V.	Sondaggio Elettrico Verticale
ESA	Agenzia Spaziale Europea	SGP	Servizio Geologico provinciale
ESAV	Ente di Sviluppo Agricolo del Veneto	SIC	Sito d'Interesse Comunitario
ESR	Evoluzione storica della linea di riva	SIGEA	Società Italiana di Geologia Ambientale
G.I.S.	<i>Geographic Information System</i>	S.I.G.	Sistema Informativo Geografico
GNDT	Gruppo Nazionale Difesa Terremoti	SIMN	Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale
GPS	<i>Global Positioning System</i>	SIMS	Sistema di Monitoraggio Integrato Satellitare
IES	Indice d'Efficienza e Stabilità	SIN	Sito d'Interesse Nazionale (per la bonifica di siti contaminati)
I.G.M. - I.G.M.I.	Istituto Geografico Militare (Italiano)	S.I.T.	Sistema Informativo Territoriale
ILS	<i>Inscriptiones Latinae Selectae</i> , H. Dessau, 1892 ss.	S.P.	Strada Provinciale
IMAGO	<i>Interactive Map Analysis Gis Oriented</i>	S.S.	Strada Statale
<i>infra</i>	in altra parte del testo	SSN	Servizio Sismico Nazionale
IRMA	Integrazione Rete Monitoraggio Altimetrico	s.	(pagina) seguente
InSAR	Interferometria satellitare convenzionale	ss.	(pagine) seguenti
IPTA	Interferometria su riflettori puntuali	s.v.	<i>sub voce</i> (per ricerca nel vocabolario)
ISDGM	Istituto per lo Studio della Dinamica delle Grandi Masse	TEF	<i>Trend</i> evolutivo dei fondali
ISES	Intrusione Salina E Subsidenza	UC	Unità Cartografica
ISMAR	Istituto Scienze Marine	ULSS	(Azienda) Unità Locale Socio Sanitaria
ISPRA	Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca	USDA	<i>United States Departement of Agriculture</i>
LGM	<i>Last Glacial Maximum</i>	UTM	<i>Universal Transverse Mercator</i>
LL.PP.	Lavori Pubblici	UTS	Unità Tipologiche di Suolo
L.R. - L.R.V.	Legge Regionale (Veneta)	VIA	Valutazione d'Impatto Ambientale
MAV	Magistrato alle Acque di Venezia	Vp	Vulnerabilità potenziale
MCS	Scala Mercalli (Mercalli - Cancani - Sieberg)	Vr	Vulnerabilità reale
		VS	Velocità sismiche trasversali
		V _{s30}	Media pesata delle velocità sismiche trasversali per i primi 30 m di sottosuolo

REFERENZE FOTOGRAFICHE

- Archivio Cav. Angelino BATTISTELLA: 18.5 - 18.6.
- Annelore BEZZI, Giorgio FONTOLAN, Simone PILLON: 19.2 - 19.3 - 19.4 - 19.5 - 19.6 - 19.8B-C-D-E - 19.9 - 19.11 - 19.13 - 19.14 - 19.15 - 19.16 - 19.17 - 19.19 - 19.20.
- Aldino BONDESAN: 2.12 - 3.10 - 4.6 - 4.11 - 4.15 - 7.25 - 9.3 - 9.4 - 9.6.
- ARPAV - Servizio Suoli: 6.4 - 6.5 - 6.6 - 6.9 - 6.11 - 6.12 - 6.13 - 6.15 - 6.16.
- Vincenzo BIXIO: 18.15a.
- Ernesto CANAL: 2.16.
- Giuseppe CANALI: 18.20b - 18.24.
- David CARRER: 19.18.
- COMUNE DI CAVARZERE - Archivio storico-fotografico della Biblioteca Comunale: 18.11a - 18.11b.
- COMUNE DI JESOLO, Assessorato alla Cultura - Fondo fotografico Giuseppe Artesi: 19.1.
- COMUNE DI PORTOGRUARO - Gruppo Comunale Volontari di Protezione: 18.21.
- COMUNE DI VENEZIA - Gruppo Comunale Volontari di Protezione Civile: 11.50 - 18.27 - 18.28.
- DISTRETTO DEL PORTOGRUARESE - Volontari di Protezione Civile: 18.20a.
- CONSORZIO DI BONIFICA ADIGE EUGANEO: 6.1 - 6.2 - 16.1 - 16.20 - 16.21 - 16.22 - 16.23.
- CONSORZIO DI BONIFICA ACQUE RISORGIVE: 18.16.
- CONSORZIO DI BONIFICA VENETO ORIENTALE: 4.22-4.25-4.26-18.15b.
- Sergio DALLA CHIARA: 11.43.
- Francesca DELLI QUADRI: 19.10 - 19.12.
- Alessandro FONTANA (Progetto via Annia): 4.1 - 4.4 - 4.16 - 8.20.
- Renzo GAIARDI - Provincia di Venezia, Servizio Protezione Civile: 18.30 - 18.31 - 18.32.
- Chiara LEVORATO: 12.2.
- Enrico MARCHESAN: 18.2.
- Lucio MONTAGNI: 11.44.
- Paolo MOZZI: 8.16 - 8.17.
- Andrea NINFO (Progetto via Annia): 4.3 - 4.8 - 4.10 - 4.12 - 4.14.
- Emiliano RAMIERI: 19.8a.
- RIZZETTO: 18.7.
- Morando ROLANTE: 18.3.
- Pasquale SCHILARDI: 18.8.
- Aurelio TIOZZO (Coordinatore Servizio Comunale di Protezione Civile di Chioggia): 18.33 - 18.34 - 18.35.
- VIGILI DEL FUOCO - Comando Provinciale di Venezia: 18.23 - 18.25 - 18.26.
- Enza VIO: 18.22.
- Michele ZANETTI: 4.2 - 4.5 - 4.7 - 4.9 - 4.13 - 4.28 - 4.29 - 4.30 - 4.31 - 4.32 - 4.33 - 7.27 - 7.28 - 7.29 - 7.30 - 7.31 - 7.32.

La Provincia di Venezia è a disposizione di eventuali aventi diritto relativamente alla pubblicazione delle immagini.

COLLANA DEGLI STUDI GEOLOGICI E DI DIFESA DEL SUOLO DELLA PROVINCIA DI VENEZIA

(a cura di Andrea Vitturi)

1. COMEL A., VITTURI A. (a cura di) "Studio geopedologico ed agronomico del territorio provinciale di Venezia, parte nord - orientale" (1983).
2. FREGONI M., BAVARESCO L., GAIATTO R., VITTURI A. "Carta nutrizionale e tematico - vocazionale della zona a D.O.C. di Lison - Pramaggiore (territori provinciali di Venezia, Pordenone e Treviso)" (1988).
3. GIARDINI L., GIUPPONI C., GIUPPONI A. "Studio agronomico del territorio provinciale di Venezia, parte meridionale" (1989).
4. ILICETO V. "Indagine sulle possibilità di rischio idraulico nella provincia di Venezia" (1992).
5. BASSAN V., FAVERO V., VIANELLO G., VITTURI A. "Studio geoambientale e geopedologico del territorio provinciale di Venezia, parte meridionale" (1994).
6. RIZZETTO C., VITTURI A., ZANGHERI P. "Studio geologico propedeutico al Piano provinciale dell'attività di cava" (1995).
7. VITTURI A. (a cura di) "Programma di previsione e prevenzione in materia di Protezione Civile" (1999).
8. DAL PRÀ A., GOBBO L., VITTURI A., ZANGHERI P. "Indagine idrogeologica del territorio provinciale di Venezia" (2000).
9. ZANGHERI P., GARBELLINI A., GREGO S., PAULON G., VITTURI A. (a cura di) "Indagine sulle acque sotterranee del Portogruarese" (2001).
10. BASSAN V., VITTURI A. "Studio geoambientale del territorio provinciale di Venezia, parte centrale" (2003).
11. CARBOGNIN L., TOSI L. "Il progetto ISES per l'analisi dei processi di intrusione salina e subsidenza nei territori meridionali delle province di Padova e Venezia" (2003).
12. BONDESAN A., MENEGHEL M. (a cura di) "Geomorfologia della provincia di Venezia. Note illustrative della Carta geomorfologica della provincia di Venezia" (2004).
13. BONDESAN A., LEVORATO C. "I geositi della provincia di Venezia" (2008).
14. RAGAZZI F., ZAMARCHI P. "I suoli della provincia di Venezia" (2008).
15. BONDESAN A., PRIMON S., BASSAN V., FONTANA A., MOZZI P., MENEGHEL M., VITTURI A. "Le unità geologiche della provincia di Venezia" (2009).
16. VITTURI A. (a cura di) "Atlante geologico della provincia di Venezia" (2011).

