

# Gli Impianti Geotermici e le Pompe di Calore: Stato dell'Arte ed Esempi

Ing. Diego Danieli

In collaborazione con:

**dD**  
Diego Danieli studio termotecnico

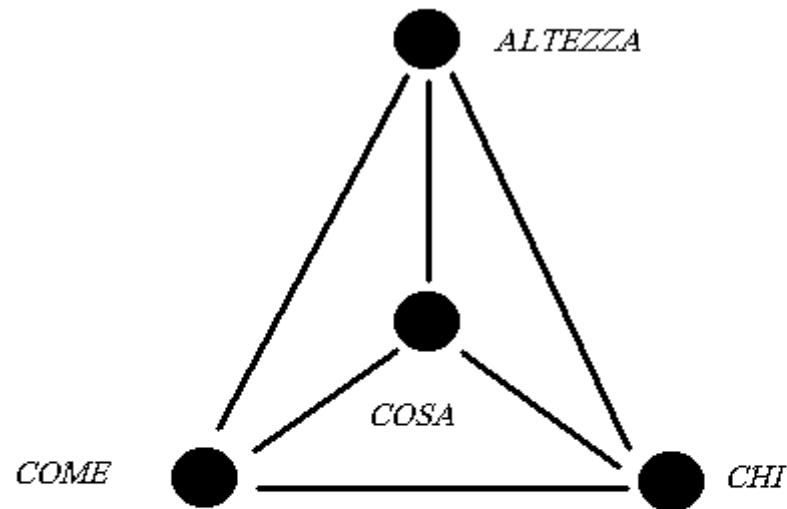
**ing. Fabio Minchio**

Ph.D. in energetica

**ASTER**

**3F**  
engineering

*TETRAEDRO DELLE CURIOSITA' DEL PROGETTISTA*



BASE :

*COSA SI DEVE FARE  
COME SI DEVE FARE  
PER CHI SI DEVE FARE*

ALTEZZA:

*PERCHE' SI PROGETTA  
PERCHE' QUELLA SOLUZIONE  
PERCHE' QUEL SISTEMA  
PERCHE' SI USANO QUEI DATI*

*“la prima fonte rinnovabile è l’energia risparmiata”*

- La presentazione prende spunto da alcune esperienze degli autori nel campo degli impianti a pompa di calore con sonde geotermiche di tipo orizzontale e verticale realizzati in questi anni.
- Il lavoro vuole analizzare gli aspetti del calcolo termotecnico e dell'inserimento degli impianti in alcuni complessi edilizi.
- Il lavoro è completato con il confronto di alcune valutazioni tecnico-economico con le attuali tecnologie presenti nel mercato rivolgendo l'attenzione all'aspetto dell'impatto ambientale e dell'efficienza energetica.

# Energie rinnovabili ed efficienza energetica: l'importanza della progettazione

## Evoluzione del sistema edificio impianto

Evoluzione impianti di climatizzazione:

- Centrali termiche e frigorifere in cui si integrano diverse tecnologie (es. caldaie a condensazione e pompe di calore o energie rinnovabili)
- Ruolo della regolazione sempre più importante
- Esigenze di comfort e qualità dell'aria sempre più marcate, anche nel residenziale (ventilazione meccanica controllata VMC)
- Involucro edilizio sempre più isolato e caratterizzato da parametri termofisici diversi dal recente passato (minore permeabilità, maggiore inerzia termica...)

**LA PROGETTAZIONE ASSUME UN'IMPORTANZA  
PIU' RILEVANTE CHE IN PASSATO**

La progettazione di impianti da fonte rinnovabile o ad alta efficienza energetica è caratterizzata da alcuni aspetti:

1. Minore standardizzazione
2. Necessità di strumenti software adeguati e calcoli non solamente stazionari
3. Necessità di integrazione fra tecnologie
4. Multidisciplinarietà
5. Importanza dell'analisi preliminare tecnico economica
6. Conoscenza dei materiali e macchinari utilizzati

## Esempio progetto impianti geotermici:

1. Geognostica
2. Realizzazione GRT (o TRT), Ground Response Test
3. Analisi delle caratteristiche del sistema edificio impianto
  1. Fabbisogni energetici almeno mensili riscaldamento, raffrescamento, acqua calda sanitaria
  2. Potenza di picco in riscaldamento e raffrescamento
  3. Copertura desiderata da geotermico
  4. Sbilanciamento fabbisogni estate inverno
  5. Temperature minime/massime di progetto in relazione all'impianto
4. Scelta tipologia di sonda geotermica
5. Simulazione "dinamica"
6. Analisi tecnico economica ed eventuale rivalutazione

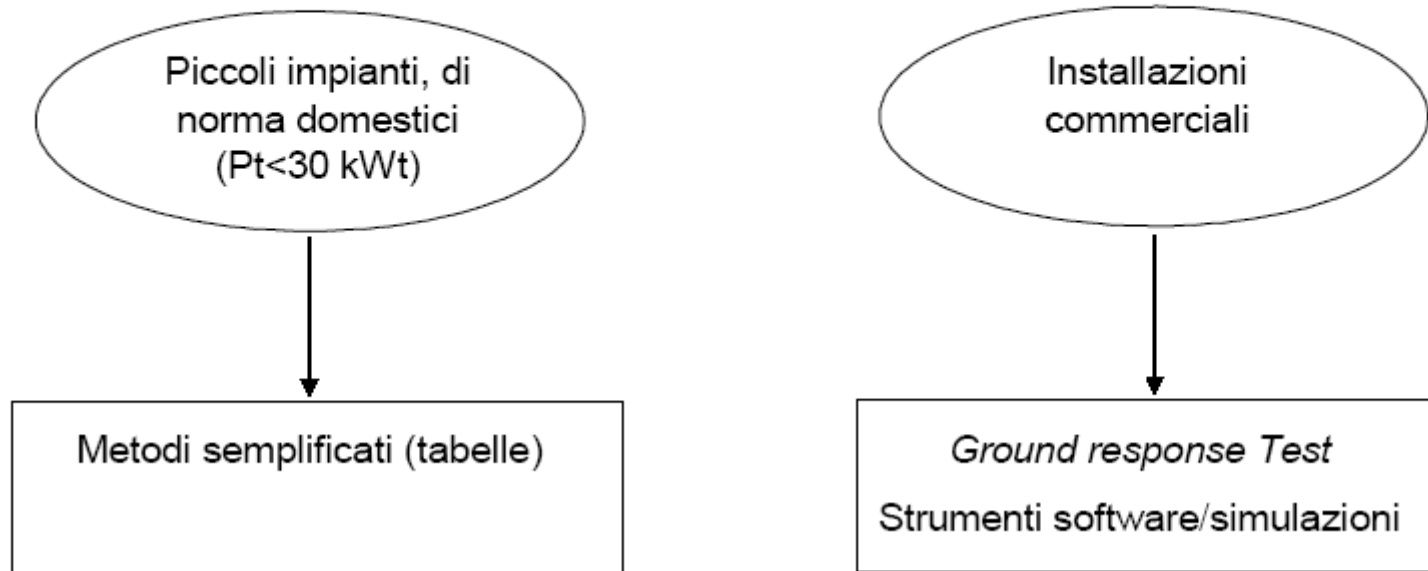
## DIMENSIONAMENTO IMPIANTI GEOTERMICI

Il dimensionamento di un campo di sonde geotermiche dipende da:

- Tipologia di terreno e relative proprietà termofisiche
- Caratteristiche della sonda geotermica
- Caratteristiche del sistema edificio impianto
- Obiettivi prestazionali

**LA PROGETTAZIONE DI UN IMPIANTO GEOTERMICO E' UN PROCESSO COMPLESSO NON RICONDUCEBILE SEMPLICEMENTE AD UN PARAMETRO DI "RESA TERMICA" !**

## DIMENSIONAMENTO SONDE GEOTERMICHE



Approccio al dimensionamento (Minchio, Basta, 2007)



# TIPOLOGIA DI SISTEMA

**Tabella I - Tabella riassuntiva di confronto fra diverse tipologie di scambiatori a terreno a circuito chiuso (Minchio, 2010)**

	Sistemi orizzontali a sbancamento	Sistemi orizzontali a trincea	Scambiatori verticali (70-120 m profondità)	Scambiatori verticali a media – bassa profondità
<b>COSTI DI INSTALLAZIONE</b>	***	****	*	**
<b>COSTI OPERATIVI</b>	**	***	****	***
<b>ASPETTI AUTORIZZATIVI</b>	***	***	*	**
<b>LIMITI DI APPLICABILITA'</b>	*	*	****	***
<b>STANDARDIZZAZIONE E AFFIDABILITA' DELLE PROCEDURE DI DIMENSIONAMENTO</b>	**	**	***	*

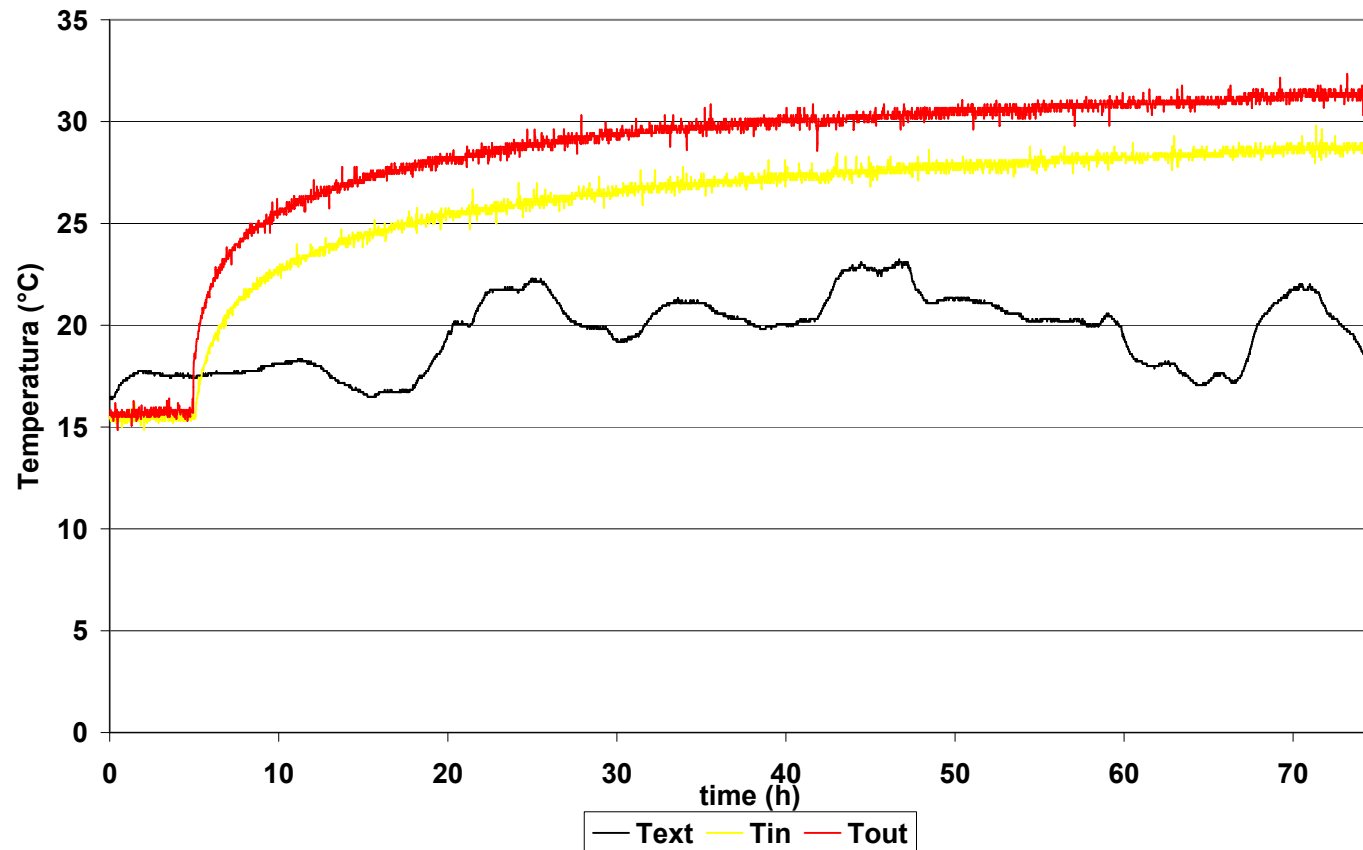
## GRT (o TRT), Ground Response Test

- Prova condotta a potenza termica (o frigorifera costante)
- Durata del test almeno 50 h
- Elaborazione sulla base della teoria della sorgente lineare

E' DI FATTO STRUMENTO INTERNAZIONALE  
STANDARD DI PROGETTAZIONE PER CAMPI >10  
SONDE GEOTERMICHE

- linee guida ASHRAE ([www.ashrae.com](http://www.ashrae.com))
- linee guida IEA (international energy agency  
[www.iea.org](http://www.iea.org))

# GRT



–Test di costo non trascurabile: problema durata

–In presenza di moti convettivi significativi test non consistente:  
problema importante in alcune zone della Pianura Padana

## PROBLEMATICHE AMMINISTRATIVE

- Assenza di un quadro legislativo nazionale sui sistemi di scambio termico a terreno (recente D.lgs n. 22 11 febbraio 2010 sfiora solo l'argomento)
- Competenza comunque Regionale, generalmente delegata a Province (esempio Veneto, Lombardia) o Comuni
- Diversa idrogeologia comporta diverse problematiche amministrative
- Reale problematica ambientale solo in presenza di falde

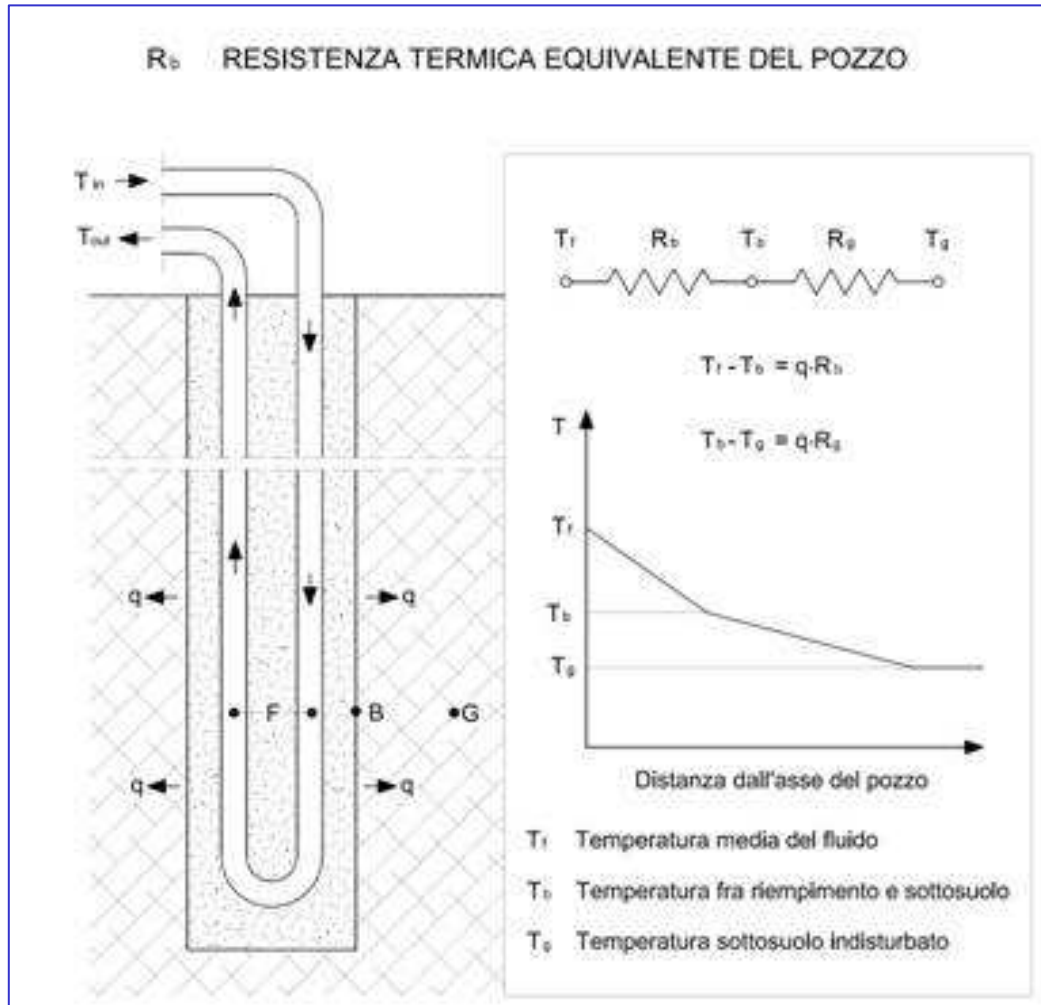
# GEOGNOSTICA

La fase geognostica preliminare risulta di fondamentale importanza per la corretta scelta e dimensionamento di un sistema di scambio termico con il sottosuolo.

In particolare appaiono necessari soprattutto:

- la definizione della stratigrafia del sottosuolo, da cui derivano le proprietà termiche del terreno
- la valutazione della presenza della acqua, in termini assoluti ed in relazione ai movimenti della stessa nel terreno.

# CARATTERISTICA SONDA GEOTERMICA



- Diametro perforazione
- Configurazione geometrica
- Materiale sonda
- Materiale riempitivo
- Fluido termovettore
- Regime di deflusso

Valore di  $R_b$

## MATERIALI

- Standard di mercato: PE/HD
- Sonde in materiale metallico:
  - Corrosione
  - Correnti vaganti

L'uso di materiali ad elevata conduttività termica consente un miglioramento ma in ogni caso esiste un limite di “sfruttamento” sostenibile del terreno

## CONFIGURAZIONE GEOMETRICA

- Standard di mercato: sonda a doppia U o a singola U, meno diffuse coassiali

Obiettivo: ottimizzazione regime di deflusso

## FLUIDO TERMOMETTORE

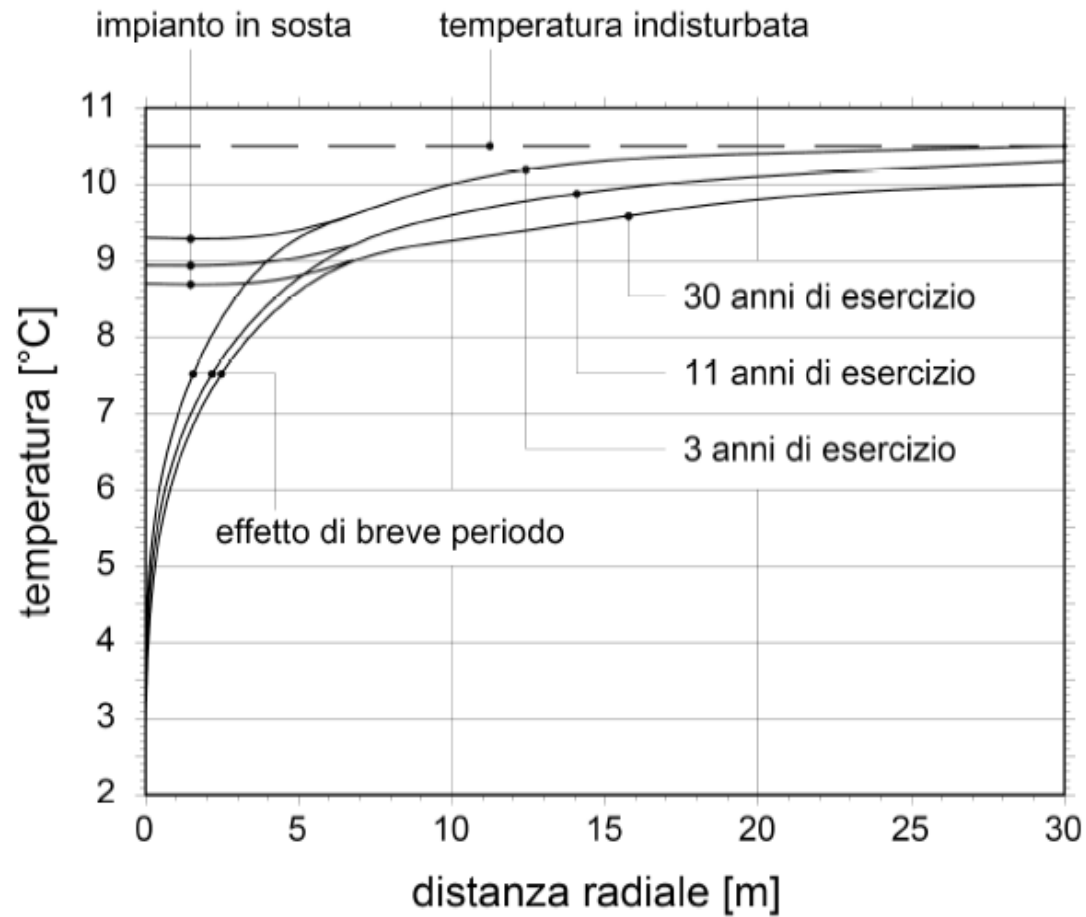
- Dimensionamento standard: previsto anticongelante
  - standard: soluzione acqua e glicole propilenico
    - Elevata viscosità: perdite di carico, regime di deflusso laminare
    - Impatto ambientale?

Solo acqua?

- Svantaggi
  - Necessità di incrementare il numero di sonde per assicurare temperature sempre  $> 0^{\circ}\text{C}$ : convenienza economica improbabile nei piccoli impianti
  - Difficoltà ottenimento garanzia su pompa di calore
- Vantaggi
  - Riduzione perdite di carico e consumi di pompaggio
  - Miglioramento regime di deflusso a parità di portata

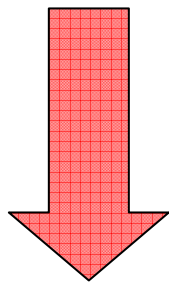


# PROFILO DI TEMPERATURA DEL TERRENO

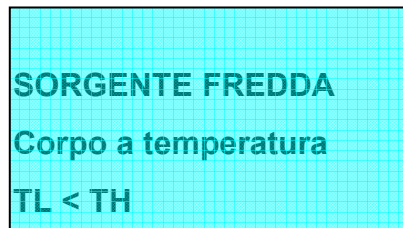


# LA POMPA DI CALORE

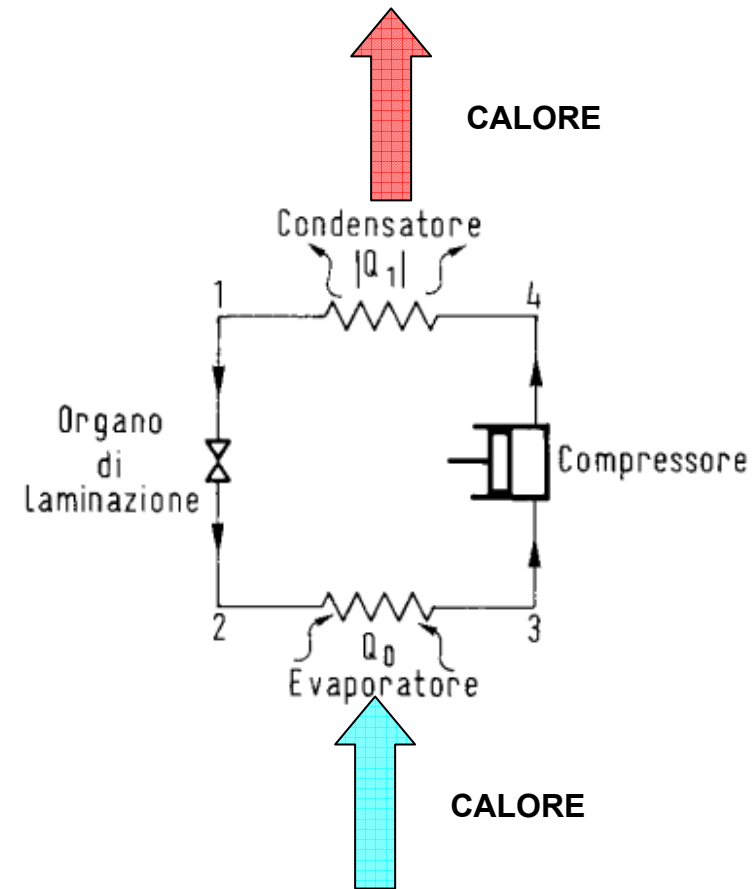
TRASMISSIONE NATURALE  
DEL CALORE

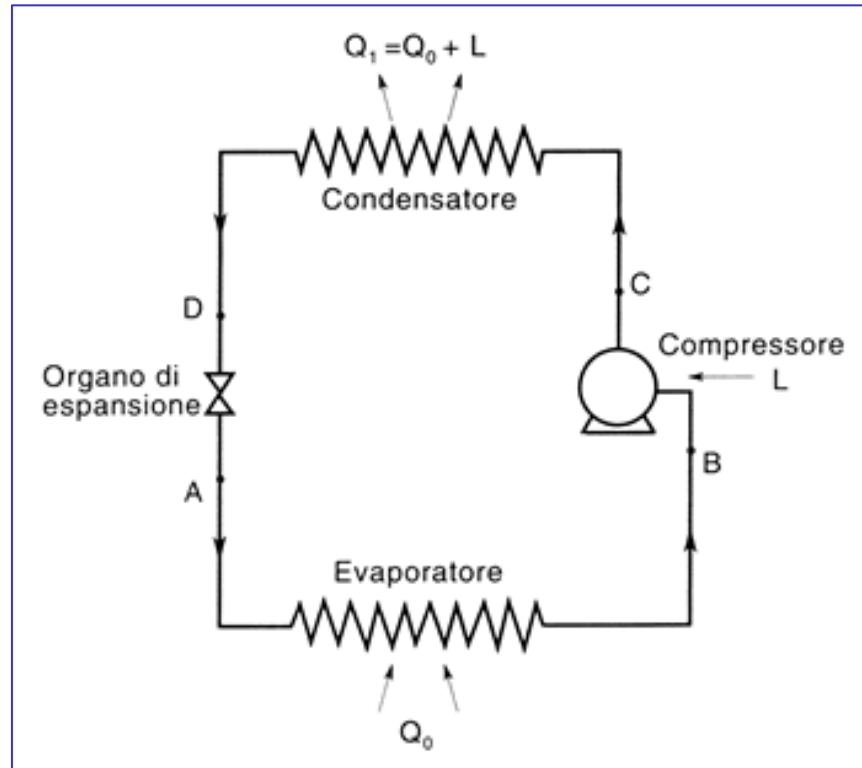


CALORE



TRASMISSIONE DEL CALORE  
TRAMITE CICLO FRIGORIFERO



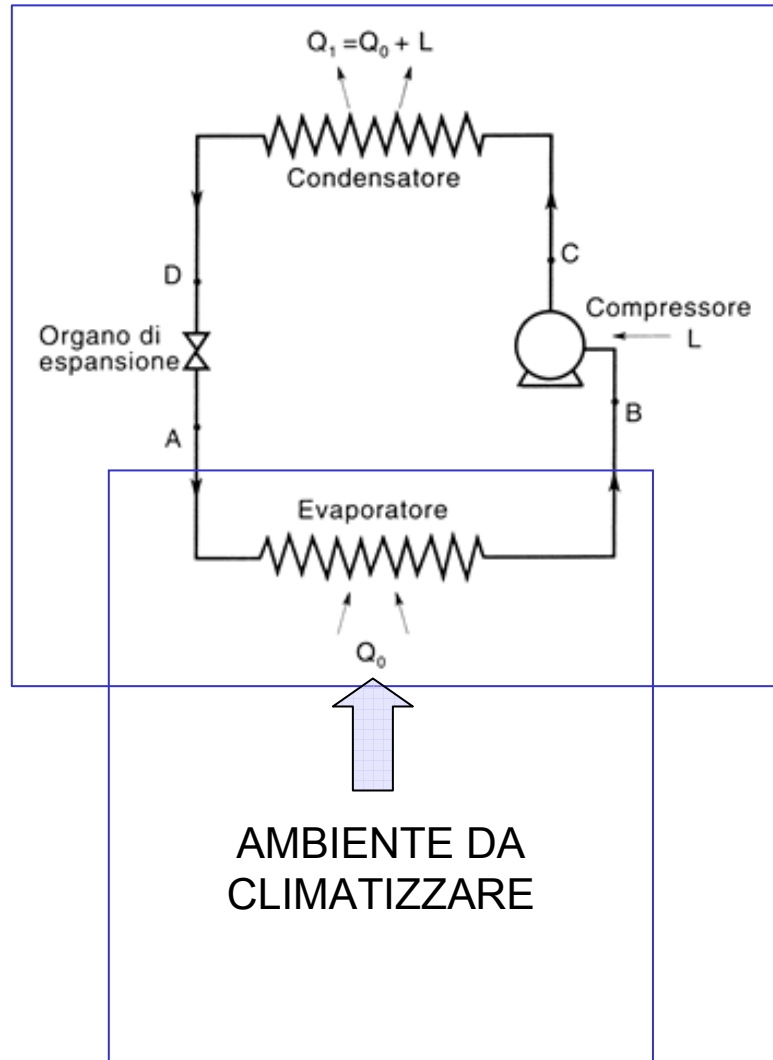


L'efficienza di una macchina frigorifera è definita dal COP (Coefficient of Performance per le pompe di calore e con EER =Energy Efficiency Ratio per le macchine frigorifere), coefficiente adimensionale definito dalle relazioni :

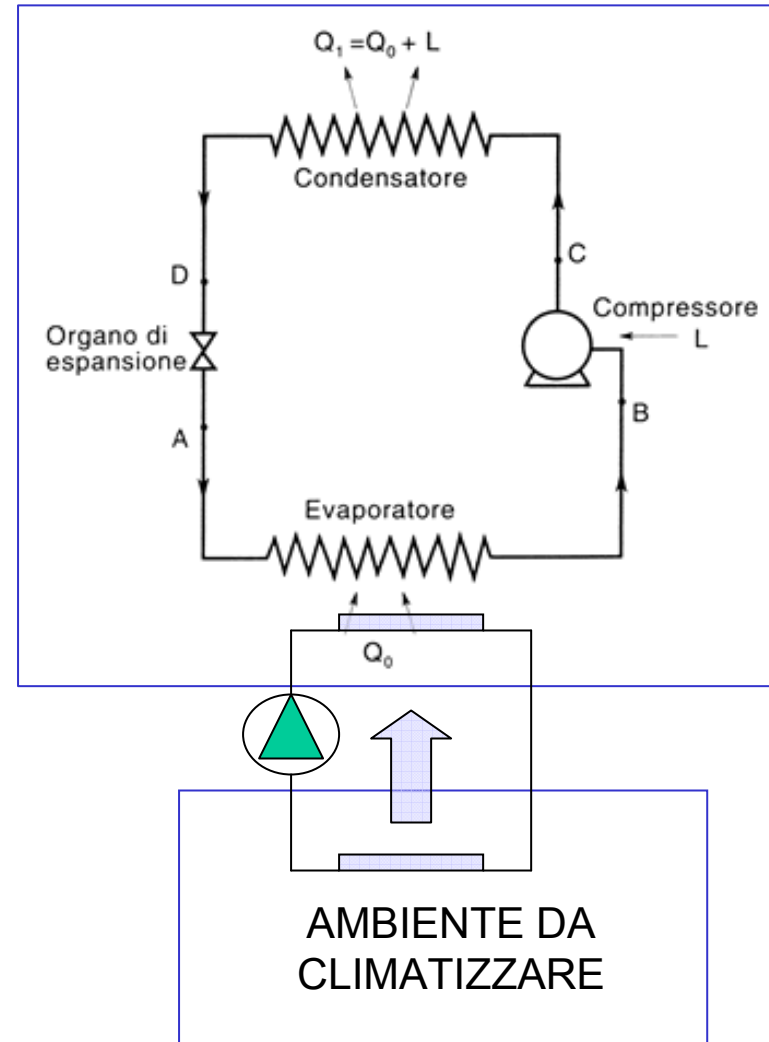
$$COP = \frac{P_T}{P_A}$$

$$EER = \frac{P_F}{P_A}$$

# CLASSIFICAZIONE DELLE POMPE DI CALORE



IMPIANTI AD ESPANSIONE DIRETTA



IMPIANTI AD FLUIDO INTERMEDIO

## SCELTA DELLA POMPA DI CALORE

Le tecnologie possibili:

- Macchine elettriche a compressione (prev. Idroniche)
- Macchine ad assorbimento, interessanti se:
  - Defiscalizzazione gas naturale
  - Applicazioni in solo riscaldamento/a.c.s. (posso dimezzare la lunghezza complessiva di scambio)
- Ecocute dedicati a CO<sub>2</sub> per la produzione a.c.s.

Si distinguono invece, per fluido impiegato lato sorgente, le seguenti tipologie di pompe di calore:

- ARIA
- ACQUA
- TERRENO

Nella tabella seguente è riportata una comparazione dell'influenza della sorgente termica esterna sulle caratteristiche delle pompe di calore.

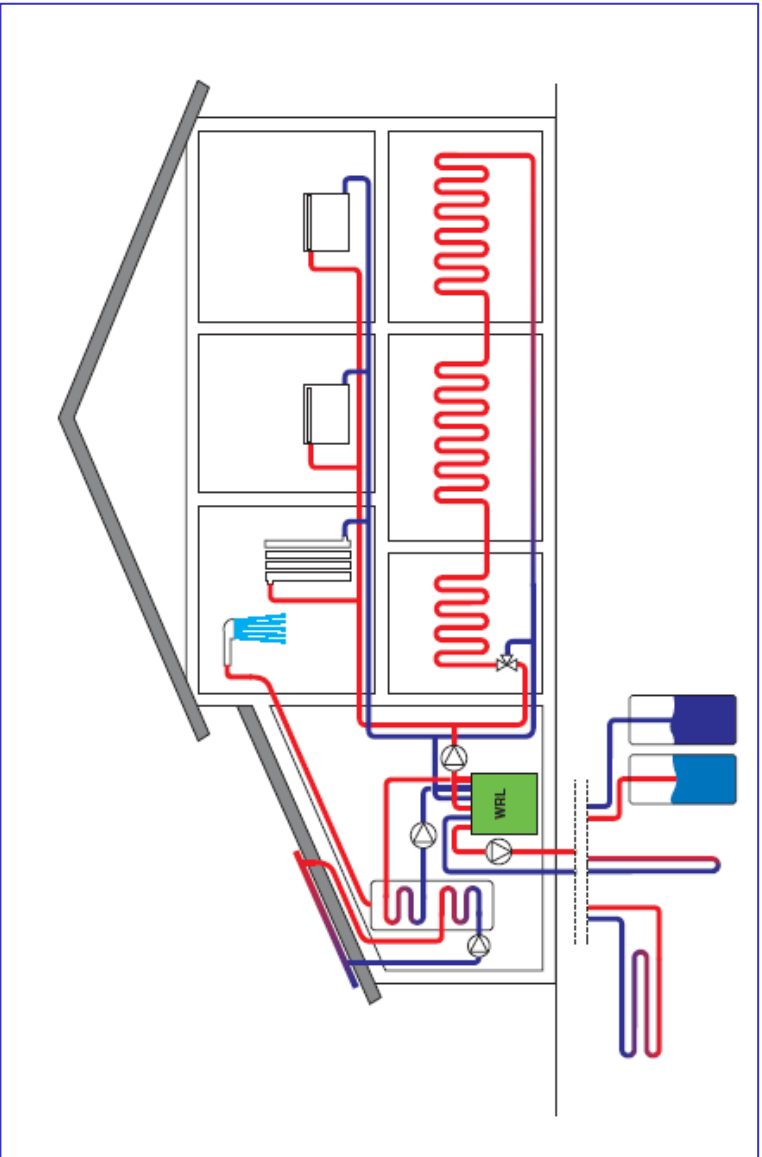
**Tabella I** – Tipologia di sorgenti termiche per applicazioni con pompa di calore

Parametro	Sorgente		
	Aria	Acqua di pozzo o falda	Terreno
Accessibilità	ovunque	incerta	frequente
Disponibilità nel tempo	continuamente	continuamente ma variabile	continuamente
Costo di investimento	modesto	medio	elevato
Costo di esercizio	medio	modesto	modesto
Livello termico	discreto	buono	buono
Variazioni con la temperatura	forti e sempre sfavorevoli	ridotte	sensibili solo in impianti di solo riscaldamento
Vincoli legislativi e autorizzativi	assenti	Dlgs. 152/99 Legislazione locale	comunicazione al genio civile competente

# CLASSIFICAZIONE DELLE POMPE DI CALORE GEOTERMICHE

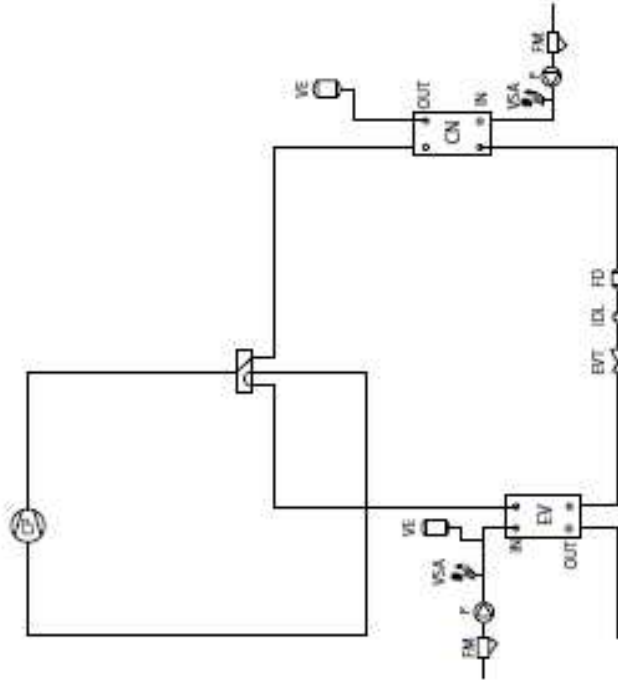
## Le PdC Idroniche





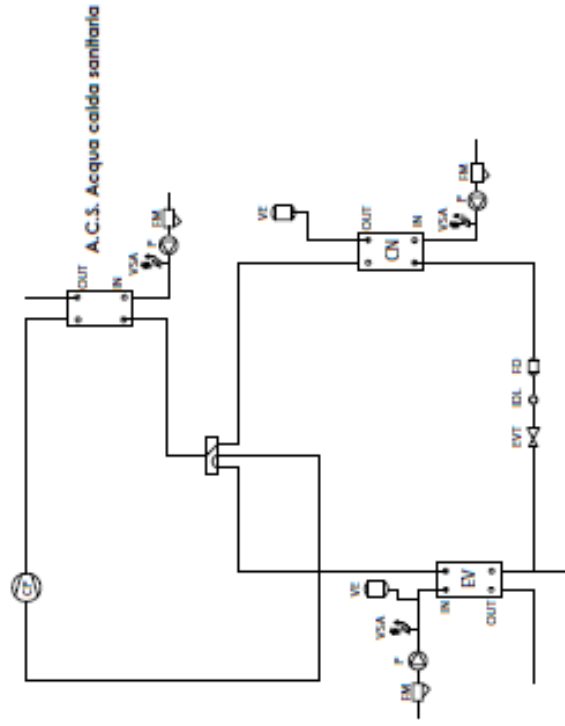


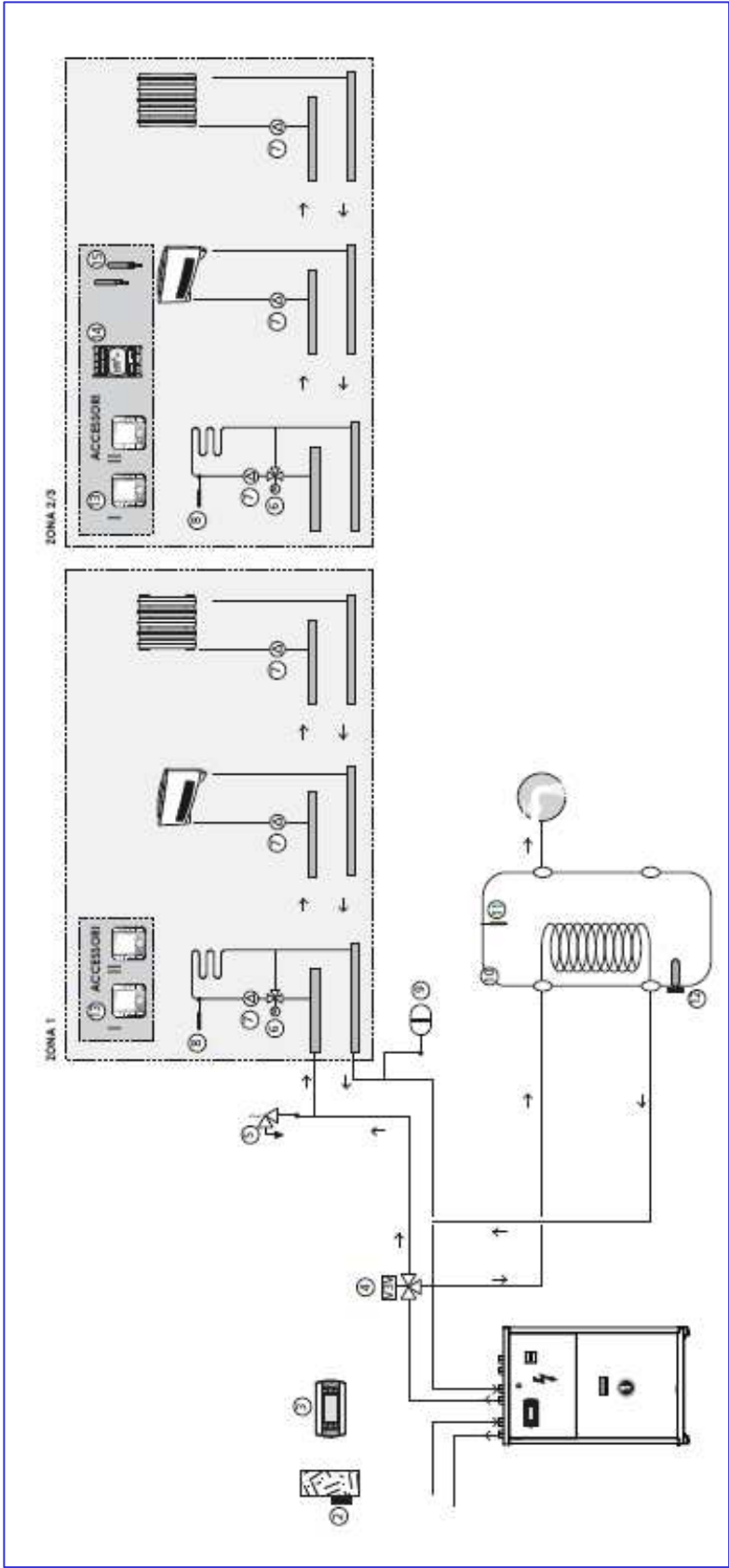
### VERSIONE STANDARD CON POMPE

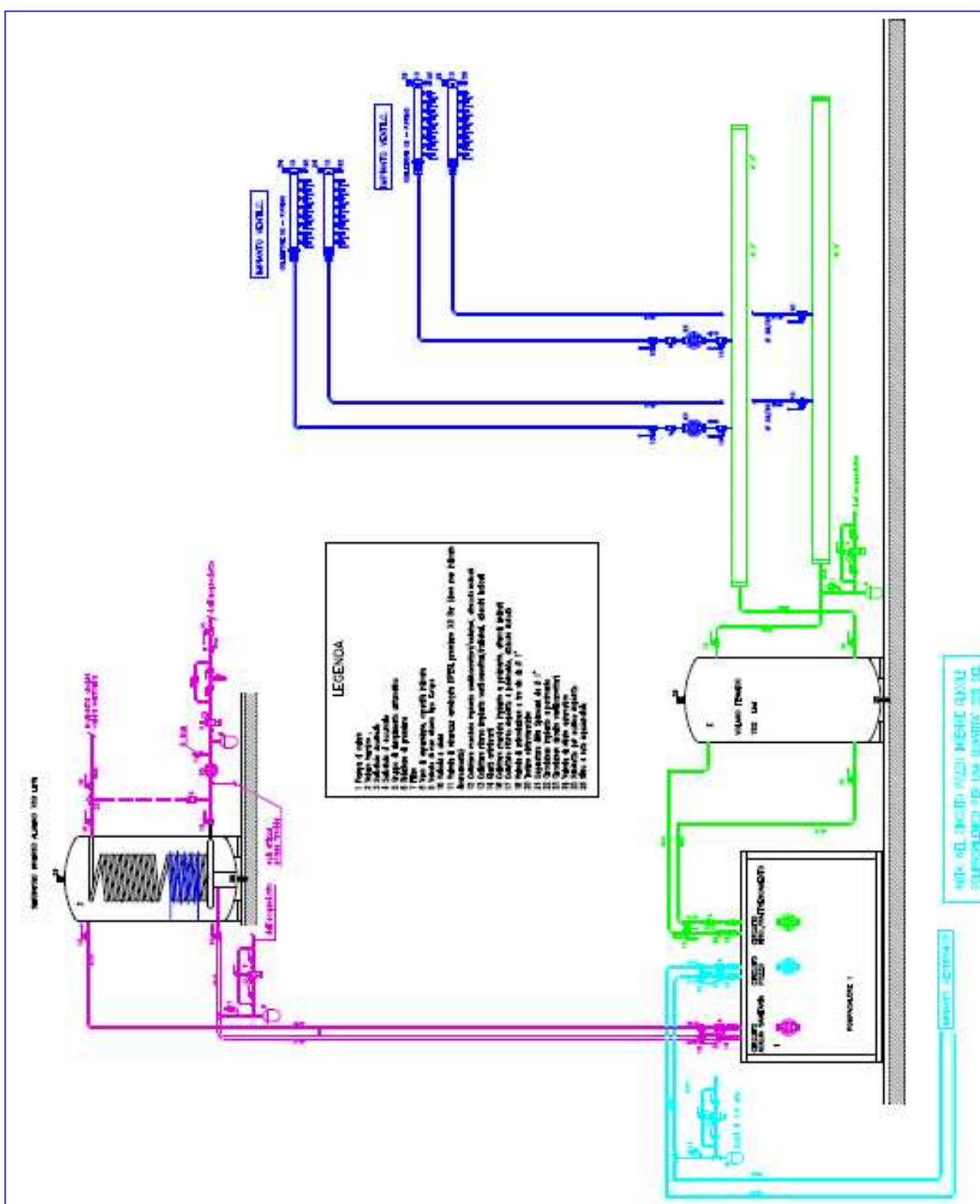


LEGENDA	
CN	Condensatore
CP	Compressore
EV	Evaporatore
EVT	Valvola termostatica elettronica di espansione
FD	Filtro deidratatore bi-flow
FM	Filtro
IDL	Indicatore di liquido
P	Pompa
VE	Vaso d'espansione
VNR	Valvola di non ritorno
VSA	Valvola di sicurezza

### VERSIONE CON RECUPERO TOTALE E POMPE







**LEGENDA**

- 1 Pannello radiante
- 2 Radiatore
- 3 Radiatore
- 4 Radiatore
- 5 Radiatore
- 6 Radiatore
- 7 Radiatore
- 8 Radiatore
- 9 Radiatore
- 10 Radiatore
- 11 Radiatore
- 12 Radiatore
- 13 Radiatore
- 14 Radiatore
- 15 Radiatore
- 16 Radiatore
- 17 Radiatore
- 18 Radiatore
- 19 Radiatore
- 20 Radiatore
- 21 Radiatore
- 22 Radiatore
- 23 Radiatore
- 24 Radiatore
- 25 Radiatore

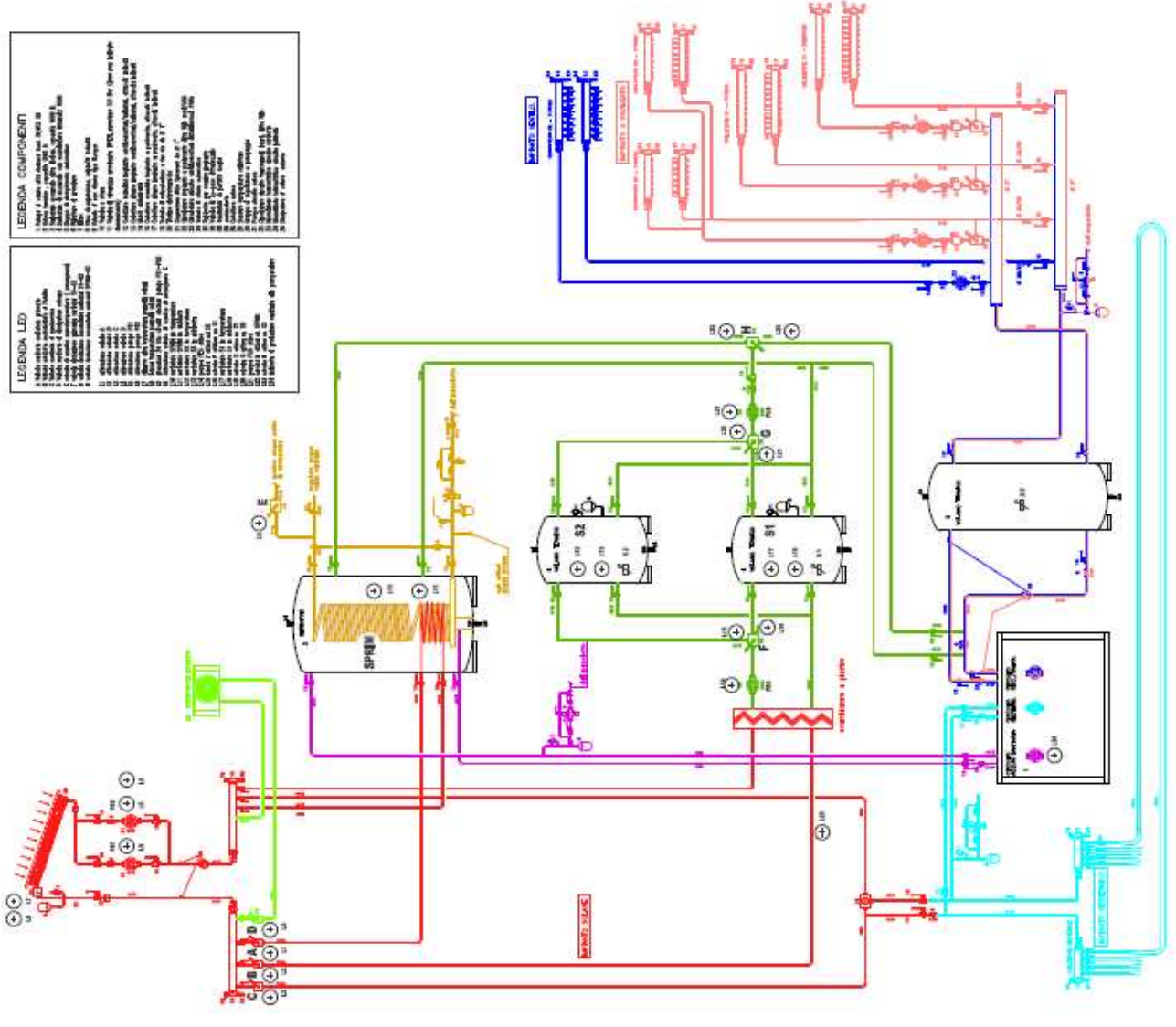
VIGILO TEMPERATURA  
SERVIZIO ESTERNO

**LEGENDA COMPONENTI**

- 1 Motor a induzione trifase 1000 W
- 2 Motor a induzione trifase 1000 W
- 3 Motor a induzione trifase 1000 W
- 4 Motor a induzione trifase 1000 W
- 5 Motor a induzione trifase 1000 W
- 6 Motor a induzione trifase 1000 W
- 7 Motor a induzione trifase 1000 W
- 8 Motor a induzione trifase 1000 W
- 9 Motor a induzione trifase 1000 W
- 10 Motor a induzione trifase 1000 W
- 11 Motor a induzione trifase 1000 W
- 12 Motor a induzione trifase 1000 W
- 13 Motor a induzione trifase 1000 W
- 14 Motor a induzione trifase 1000 W
- 15 Motor a induzione trifase 1000 W
- 16 Motor a induzione trifase 1000 W
- 17 Motor a induzione trifase 1000 W
- 18 Motor a induzione trifase 1000 W
- 19 Motor a induzione trifase 1000 W
- 20 Motor a induzione trifase 1000 W
- 21 Motor a induzione trifase 1000 W
- 22 Motor a induzione trifase 1000 W
- 23 Motor a induzione trifase 1000 W
- 24 Motor a induzione trifase 1000 W
- 25 Motor a induzione trifase 1000 W
- 26 Motor a induzione trifase 1000 W
- 27 Motor a induzione trifase 1000 W
- 28 Motor a induzione trifase 1000 W
- 29 Motor a induzione trifase 1000 W
- 30 Motor a induzione trifase 1000 W

**LEGENDA LED**

- 1 LED verde
- 2 LED rosso
- 3 LED giallo
- 4 LED blu
- 5 LED bianco
- 6 LED viola
- 7 LED ciano
- 8 LED magenta
- 9 LED arancione
- 10 LED grigio
- 11 LED nero
- 12 LED oro
- 13 LED argento
- 14 LED bronzo
- 15 LED rame
- 16 LED stagno
- 17 LED zinco
- 18 LED alluminio
- 19 LED nichel
- 20 LED cobalto
- 21 LED nichel
- 22 LED nichel
- 23 LED nichel
- 24 LED nichel
- 25 LED nichel
- 26 LED nichel
- 27 LED nichel
- 28 LED nichel
- 29 LED nichel
- 30 LED nichel



# CLASSIFICAZIONE DELLE POMPE DI CALORE GEOTERMICHE

## Le PdC VRV-VRF Condensate ad Acqua

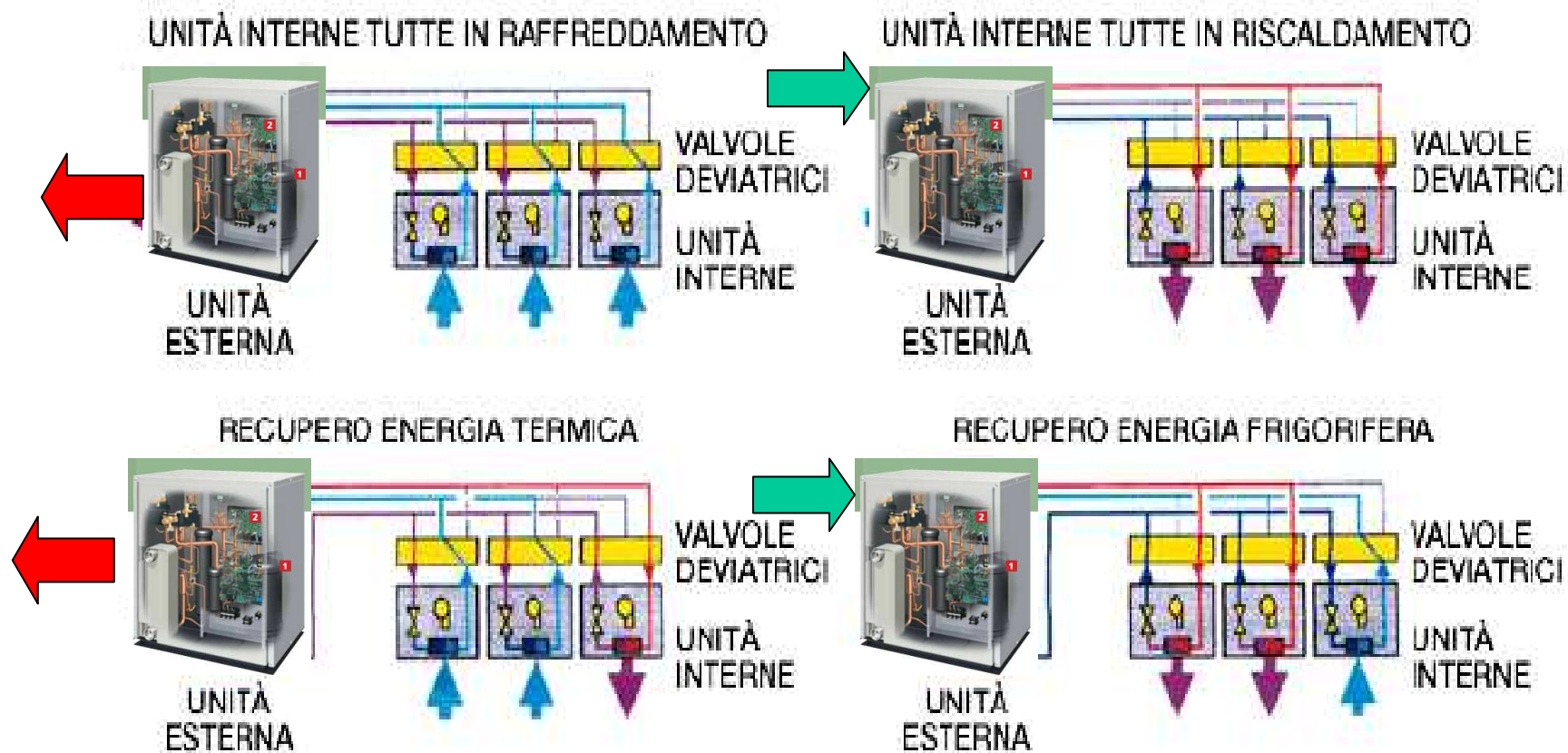
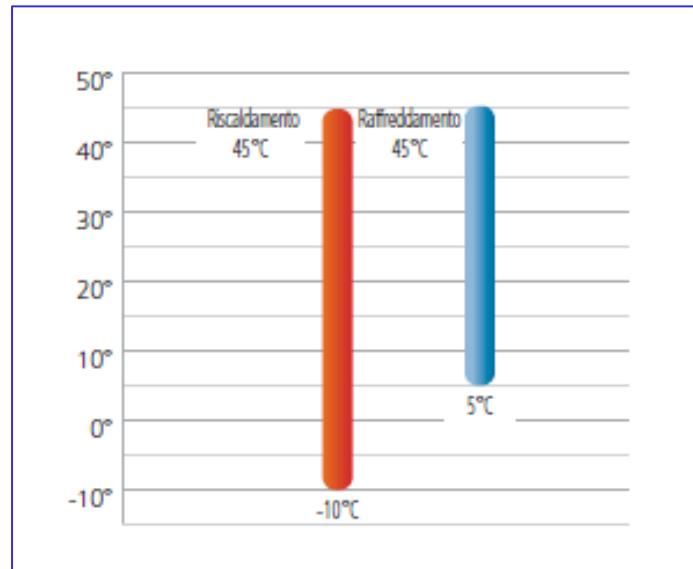


Figura 15. logica di funzionamento dei sistemi VRV

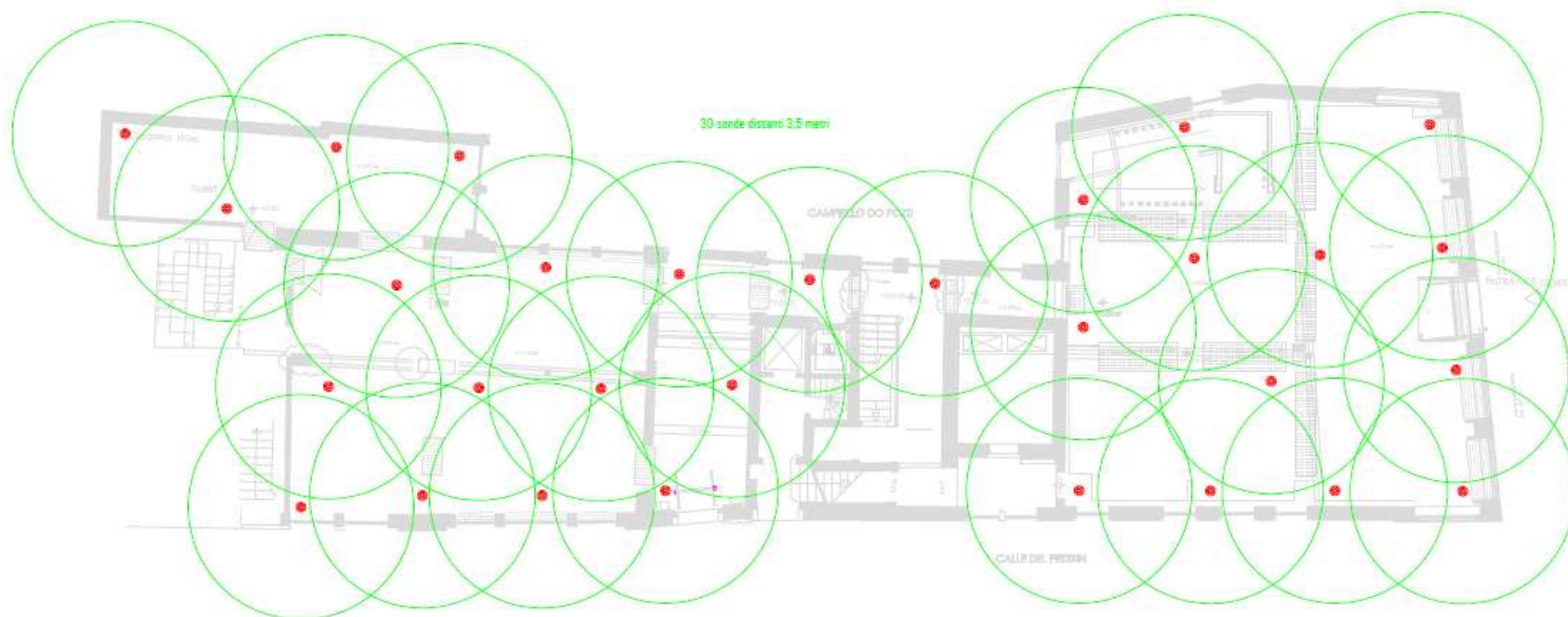


La serie geotermica condensata ad acqua tollera temperature dell'acqua in ingresso allo scambiatore fino a  $-10^{\circ}\text{C}$  in modalità riscaldamento, estendendo in questo modo il campo di funzionamento dei sistemi condensati ad acqua.

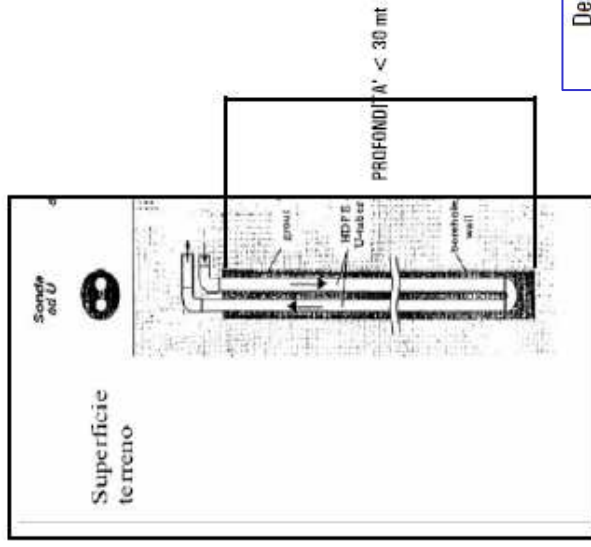
## Alcuni esempi d'Impianti progettati ed realizzati

1. Impianto con sonde verticali
2. Impianto con sonde orizzontali (tipo sinkly)
3. Impianto ad anello Geotermico
4. ....

# IMPIANTO A PdC CON GEOSCAMBIO A SONDE VERTICALI







### Sonda n° 1

- - 0,0 – 4,0 **Deposito antropico**: coltre superficiale di copertura; depositi di ambiente lagunare (olocene)
- - 4,0 – 9,0 **Argilla con resti di molluschi**:
- - 9,0 – 11,0 **Sabbia fine di canale di marea** ; depositi di ambiente continentale (pleistocene superiore)
- - 11,0 – 22,0 **Argilla e argilla limosa con torba**
- - 22,0 – 24,0 **Sabbia media e fine di canale alluvionale**
- - 24,0 – 30,0 **Argilla e argilla limosa con torba**

### Descrizione sonde geotermiche

Tubo acciaio AISI 316 diam 50 mm

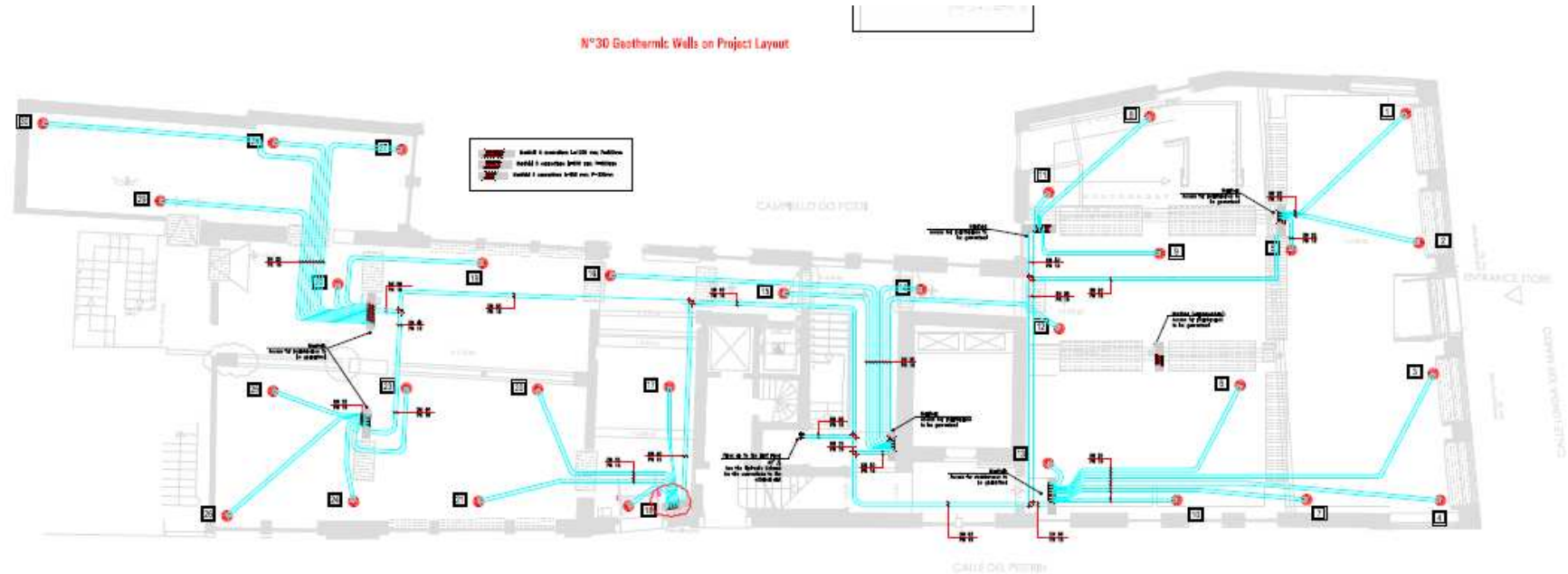
tubo HDPE da installare dentro alla sonda di acciaio

punta AISI 316 per vibro infissione

testa di collegamento della sonda coassiale



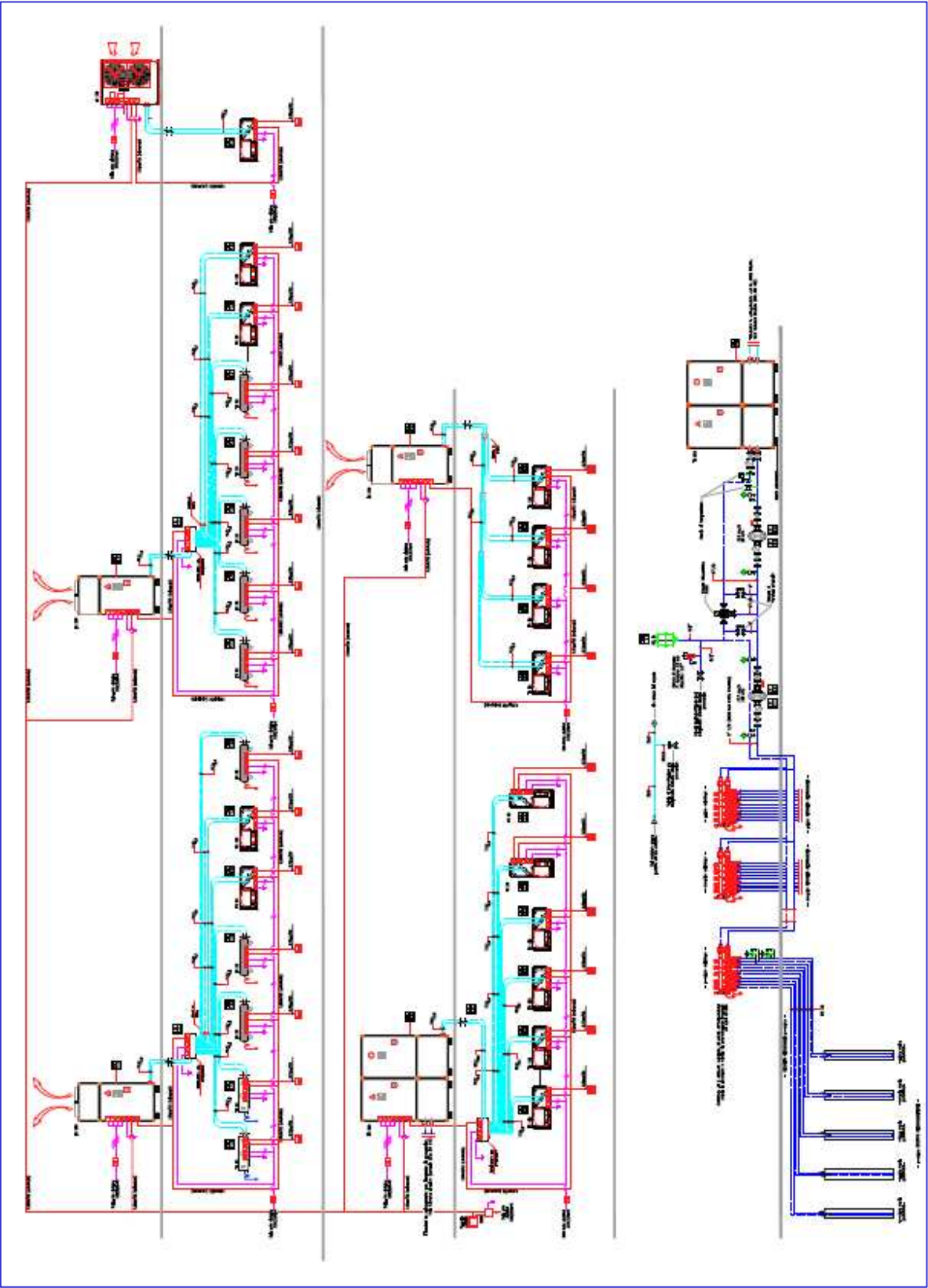
Sonde geotermiche

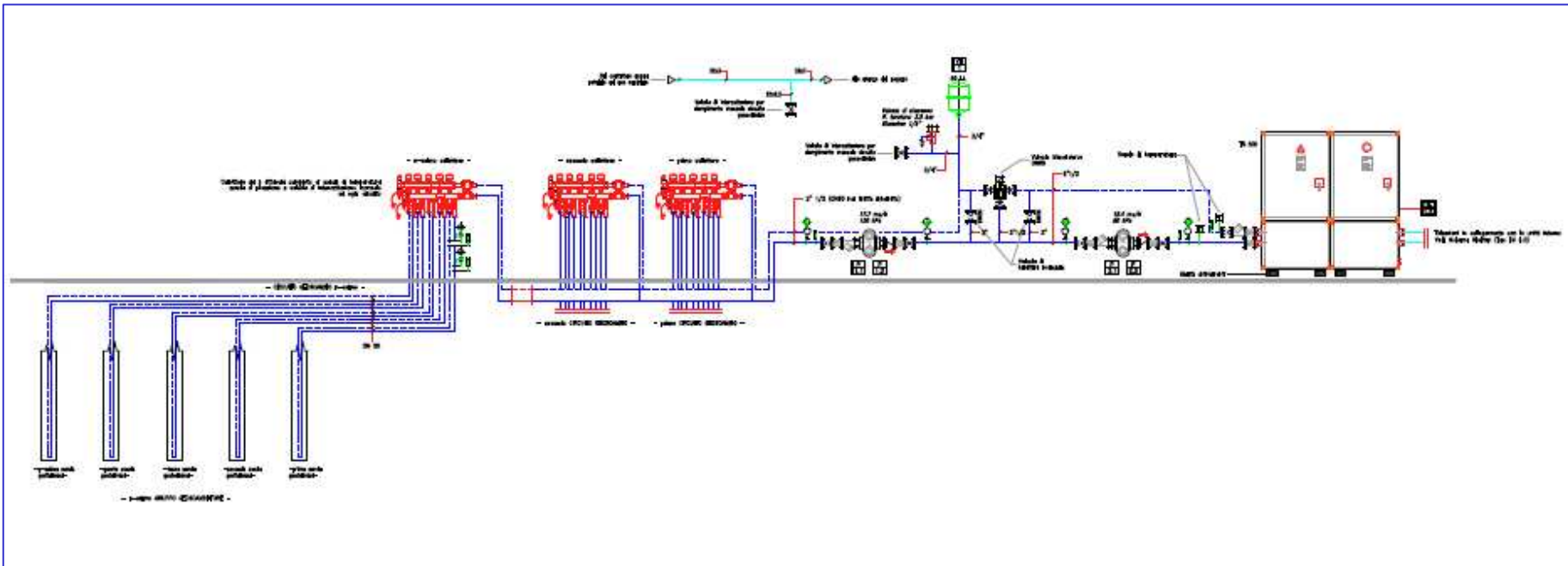


La quasi totalità dei metodi disponibili in letteratura per il dimensionamento delle sonde geotermiche si basa sulla seguente relazione di scambio termico in regime stazionario, dove nella resistenza  $R$ , opportunamente modificata, viene inglobato l'effetto della non stazionarietà dei fenomeni:

$$q = L \cdot \frac{(T_g - T_w)}{R}$$

dove:  $q$  è il flusso termico tra fluido termovettore della singola sonda e terreno [W];  $L$  è la lunghezza totale della sonda [m];  $T_g$  è la temperatura media del terreno prima di installare la sonda [K];  $T_w$  è la temperatura media del fluido in sonda [K];  $R$  è la resistenza termica del terreno per unità di lunghezza della sonda [(m·K)/W].





L'ASHRAE prevede una procedura di calcolo che utilizza il metodo sviluppato da Ingersoll nel 1954 e ripreso ed implementato da Kavanaugh e Rafferty nel 1997. La  $q$  modificata da Ingersoll, Kavanaugh e Rafferty diventa perciò:

$$L_c = \frac{q_a \cdot R_{ga} + (q_k - \bar{W}_c) \cdot (R_b + PLF_m \cdot R_{gm} + R_{gd} \cdot F_{sc})}{t_g - \left( \frac{t_{wi} + t_{wo}}{2} \right)_c - t_p}$$

$$L_h = \frac{q_a \cdot R_{ga} + (q_{lh} - \bar{W}_h) \cdot (R_b + PLF_m \cdot R_{gm} + R_{gd} \cdot F_{sc})}{t_g - \left( \frac{t_{wi} + t_{wo}}{2} \right)_h - t_p}$$



# IMPIANTO A PdC CON GEOSCAMBIO A SONDE ORIZZONTALI (SHINKLY)

**RIQUALIFICAZIONE DI IMPIANTO ESISTENTE**

**VERCELLI**

**dD**

**Diego Danieli**  
studio termotecnico  
ing. Diego Danieli



**Progetto esecutivo:**

**Progetto definitivo:**

dott. F. Pettorossi  
ing. Pg. Avanzini

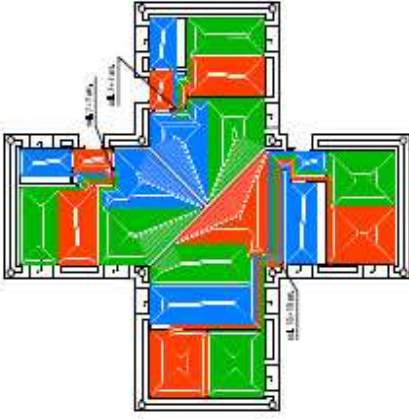
### 1) Informazioni generali edificio

Ubicazione dell'edificio: VERCELLI  
Destinazione d'uso: residenziale  
Temperatura esterna di progetto (°C): -7  
Superficie utile dell'edificio (m<sup>2</sup>): 4172,4  
Volume lordo riscaldato V (m<sup>3</sup>): 19829,6  
Superficie disperdente S (m<sup>2</sup>): 11864,6  
Rapporto SV: 0,6  
Zona climatica: E  
Gradi giorno: 2751  
Durata giorni di riscaldamento: 183  
Fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione invernale massima, "Epi max" (secondo decreto legge D.lgs 192/311): 33,00 kWh/ m<sup>2</sup> anno  
Fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione invernale limite, "Epi lim" (secondo decreto legge D.lgs 192/311): 91,11 kWh/ m<sup>2</sup> anno

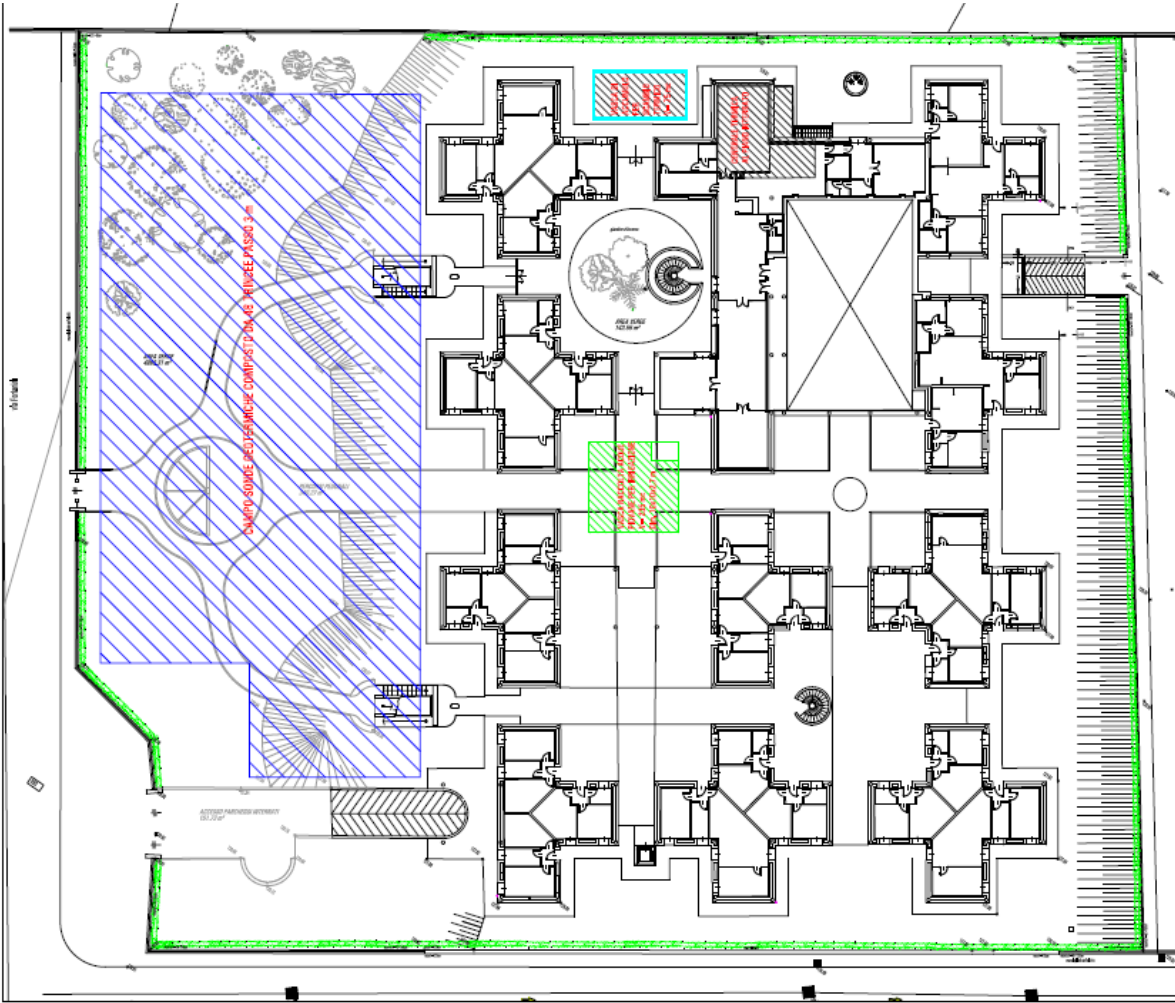
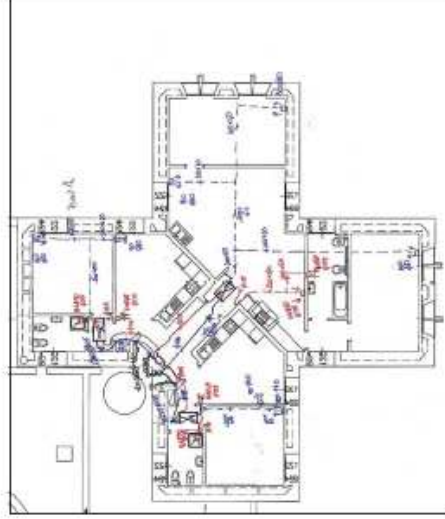
### 6) Costi, dati generali su consumi e fabbisogni di energia

Costo edificio = € 8.500.000,00 parametrizzato al volume edificio 428 €/m<sup>3</sup>  
Costo impianto termico = € 903.898,00 parametrizzato al volume edificio 45,6 €/m<sup>3</sup>  
Fabbisogno di energia termica per il riscaldamento prima della riqualificazione = 261,55 kWh/mq/anno  
Fabbisogno di energia termica per il riscaldamento dopo la riqualificazione = 52,31 kWh/mq/anno  
Fabbisogno di energia primaria per il riscaldamento Prima della riqualificazione = 180 kWh/mq/anno  
Fabbisogno di energia primaria per il riscaldamento Prima della riqualificazione = 33 kWh/mq/anno  
Emissioni di CO<sub>2</sub> prima della riqualificazione = 30 kg/mq/anno  
Emissioni di CO<sub>2</sub> dopo la riqualificazione = 7 kg/mq/anno  
Costo di energia primaria annua per il riscaldamento dopo la riqualificazione = 9144 €  
Costo di energia primaria per produzione di Acs dopo la riqualificazione = 3200 €  
Rendimento medio stagionale riscaldamento Prima della riqualificazione = 87,5 %  
Rendimento medio stagionale riscaldamento Dopo della riqualificazione = 65,0

DISTRIBUTIVO TIPO PANNELLI RADIANTI.



PARTICOLARE VMC





#### 4) Relazione Impianto termico

Sistema di generazione del calore:

conversione dell'impianto originario a gasolio con radiatori in un impianto a pompa di calore geotermica con integrazione di caldaie a condensazione.

pompa di calore geotermica da 120 kWt con vasca di accumulo da 75 mc (caratterizzato quindi da inerzia importante stimata in circa 87 kWh per °C) che compensa il prelievo della PdC con impianto solare termico, sonde geotermiche orizzontali tipo shinky, recupero termico dalle acque grigie delle utenze e integrazione con 2 caldaie a condensazione da 100 kWt. Il collettore delle pompe di alimentazione dei circuiti sono tutte a portata variabile.

Il campo sonde geotermico orizzontale con metodo di posa Shinky (a spirale) è composto da 48 trincee per 20 mt di lunghezza ad una profondità di 3 mt dal piano campagna con una resa stimata massima di 40 W/mt lineare di trincea.

Il campo sonde di 46 trincee elabora un totale di 39,4 kWt.

Potenza totale impianto = 350 kWt

Il solare integra circa 60 kWt

Totale potenza a disposizione per l'accumulo che preleva la pompa di calore sono:

PH(Pompe di calore)= 350 – 38 – 200 = 112 kWt

Mentre la pompa di calore principale ha una potenza di 120 kWt, (suddivisa in due unità da 60 kWt ciascuna per rendere l'impianto più flessibile)

La potenza stimata per il prelievo dalle acque grigie non contemporanea e molto discontinua nella giornata è di circa 62 kWt. Lo scambio termico avviene all'interno dell'accumulo con realizzazione di una serpentina in acciaio.

All'interno degli edifici residenziali oltre all'impianto a pannelli radianti si è progettato un impianto di Ventilazione Meccanica controllata VMC con recuperatore di calore ad alta efficienza.

Tipo di distribuzione e terminali:

- collettori compianari per pannelli a pavimento e radiatori bagni (sempre in bassa temperatura) per gli appartamenti
- collettori compianari per pannelli a pavimento per ristorante
- montanti a due tubi per aereo termi palestra

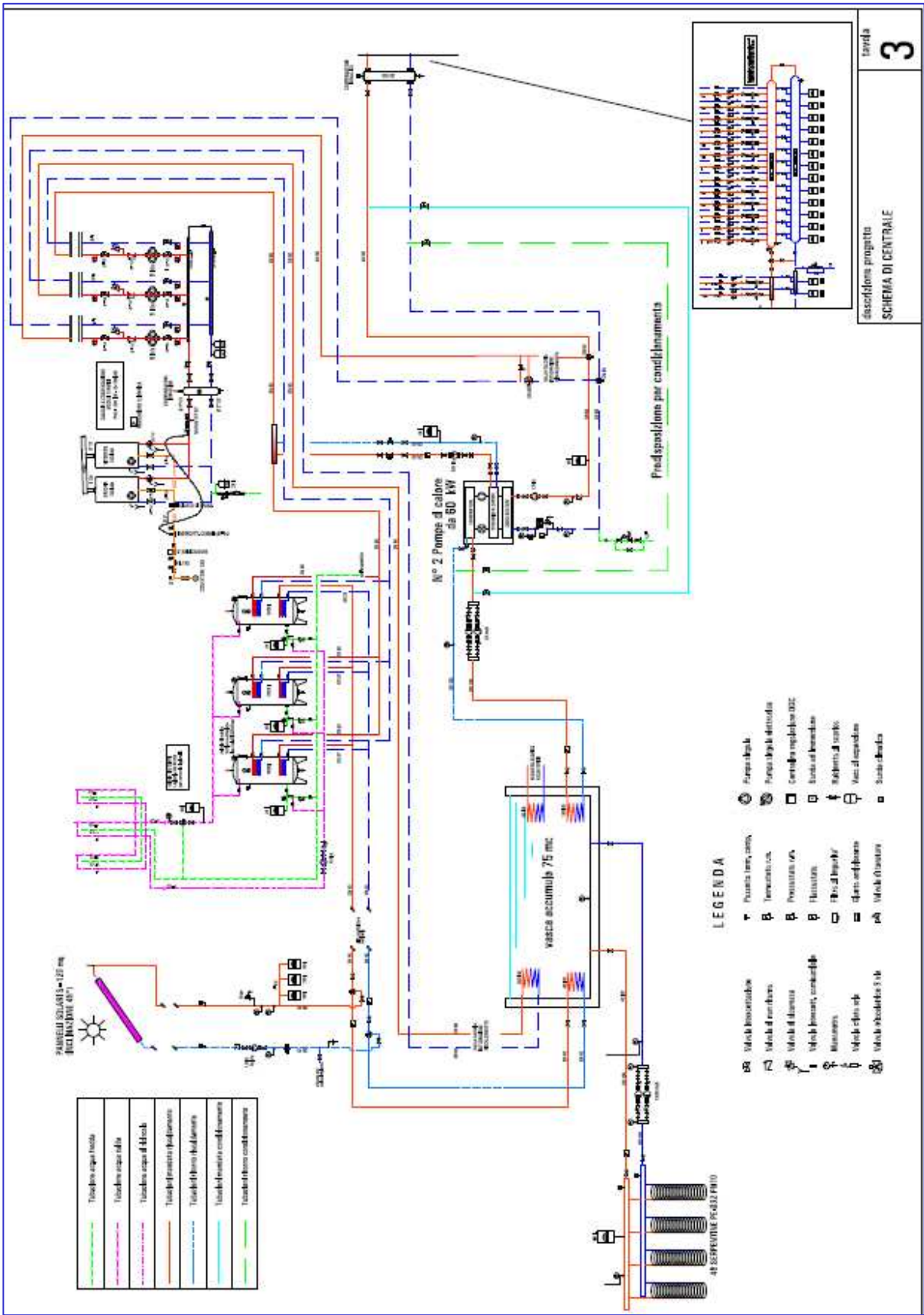
Tipo di combustibile: energia elettrica e metano

Impiego di energie rinnovabili:

- 120 m<sup>2</sup> pannelli solari termici con 84,7 % copertura sanitario
- 68 m<sup>2</sup> di pannelli fotovoltaici in silicio monocristallino da 8,5 kWp
- campo geotermico orizzontale a spirale con metodo di posa Shinky (a spirale) con recupero di 40 kWt
- recupero del calore dalle acque grigie
- recupero acqua piovana per impianto di irrigazione e fontana

Sistemi di regolazione:

- termoregolazione di zona mediante termostati ambiente agenti sulle valvole di zona dei pannelli radianti, centralina di gestione del sistema di Centrale del tipo DDC-BMS con regolazione dei flussi termici nell'accumulo e dei generatori di calore e gestione dell'acqua calda sanitaria centralizzata.



Temperatura acqua calda
Temperatura acqua calda
Temperatura acqua calda
Temperatura ambiente
Temperatura ambiente
Temperatura ambiente
Temperatura ambiente
Temperatura ambiente

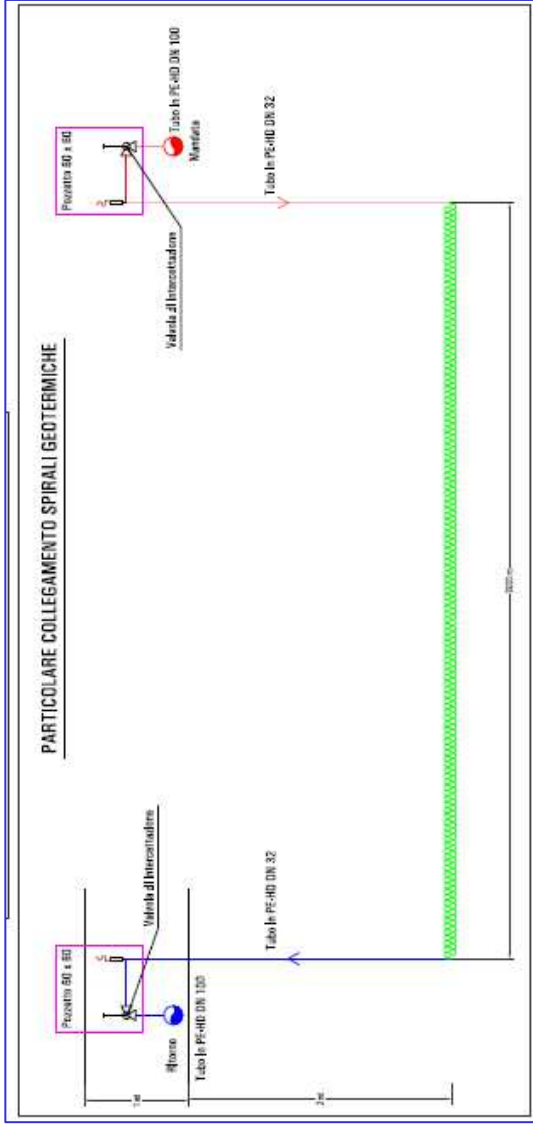
PANNELLO SOLARE 127 mc  
1200x600 (20")

**LEGENDA**

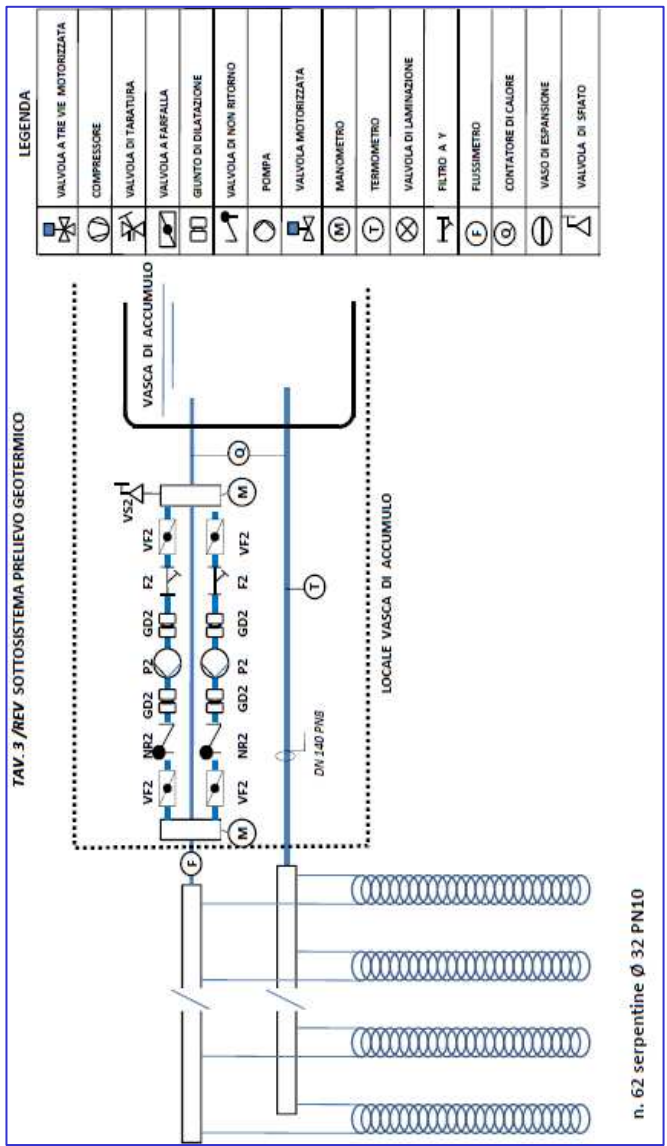
- ☀️ Pannello solare
- ☀️ Pannello solare elettrico
- ☀️ Generatore refrigerazione DDC
- ☀️ Sonda di temperatura
- ☀️ Regolatore di carico
- ☀️ Vaso di espansione
- ☀️ Scaldabagno
- ☀️ Pompa termica, acqua
- ☀️ Temperatura c.a.
- ☀️ Pompatore c.a.
- ☀️ Inibizione
- ☀️ Fluido glicole
- ☀️ Cilindro ad azoto
- ☀️ Vaso di espansione
- ☀️ Vaso di accumulo
- ☀️ Vaso di accumulo 5 lit
- ☀️ Pompa elettrica
- ☀️ Pompa di circolazione
- ☀️ Pompa di diluizione
- ☀️ Pompa di lavaggio, condizionale
- ☀️ Minuteria
- ☀️ Vaso di espansione
- ☀️ Vaso di accumulo 5 lit

descrizione progetto  
SCHEMA DI CENTRALE

tabella  
**3**

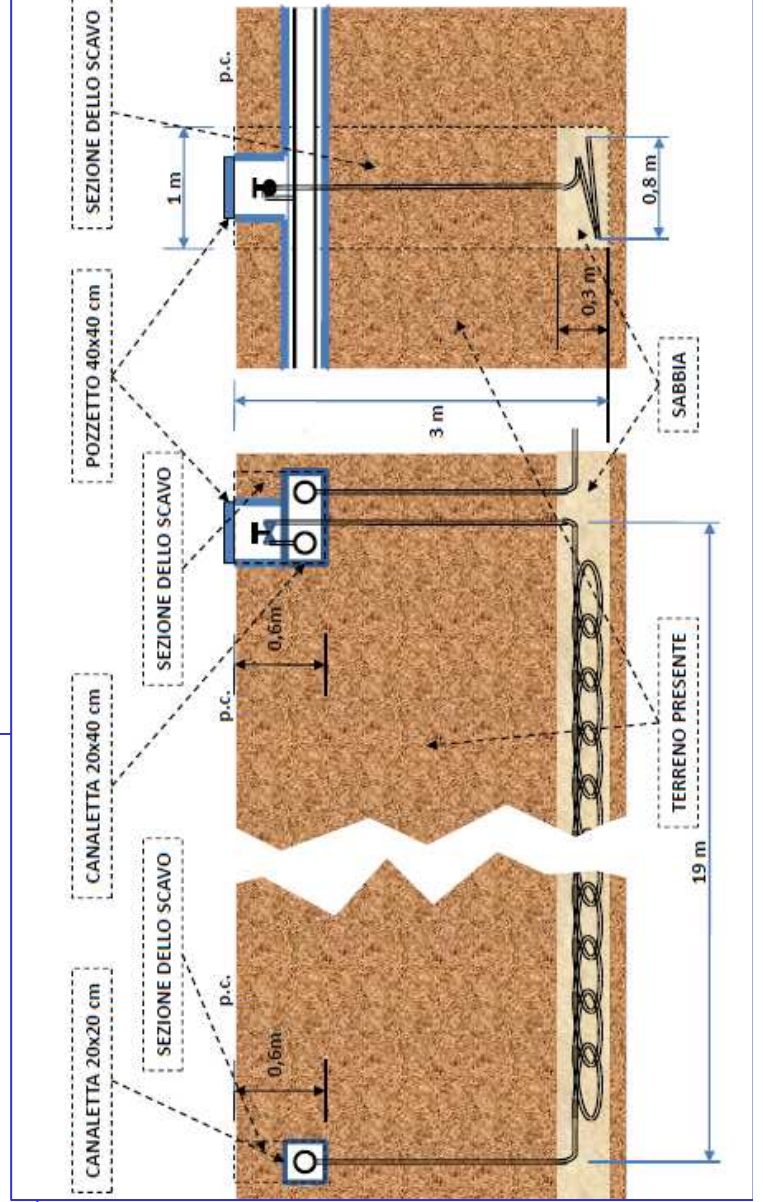
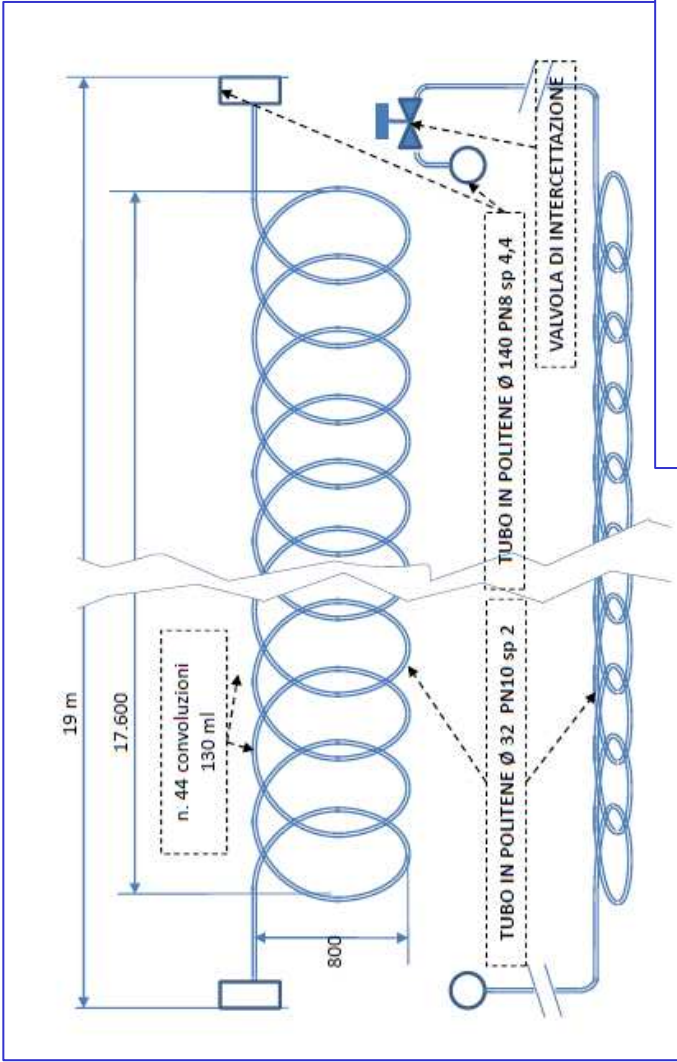


TAV. 3 /REV SOTTOSISTEMA PRELIEVO GEOTERMICO

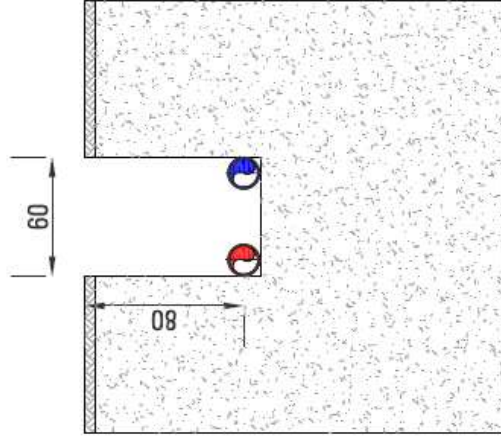


n. 62 serpentine Ø 32 PN10

LEGENDA	
	VALVOLA A TRE VIE MOTORIZZATA
	COMPRESSORE
	VALVOLA DI TARATURA
	VALVOLA A FARFALLA
	GIUNTO DI DILATAZIONE
	VALVOLA DI NON RITORNO
	POMPA
	VALVOLA MOTORIZZATA
	MANOMETRO
	TERMOMETRO
	VALVOLA DI LAMINAZIONE
	FILTRO A Y
	FLUSSIMETRO
	CONTATORE DI CALORE
	VASO DI ESPANSIONE
	VALVOLA DI SRATO



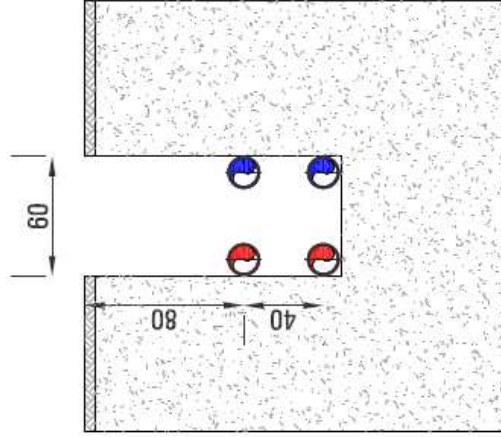
TRINCEA 1 ANELLO



Rendimenti specifici approssimativi dei tubi

Tipo di sottosuolo	W / m
terreno sabbioso secco	4,0 - 6,0
terreno sabbioso umido	6,0 - 8,0
terreno argilloso secco	8,0 - 10,0
terreno argilloso umido	10,0 - 12,0
terreno saturo d'acqua	12,0 - 16,0

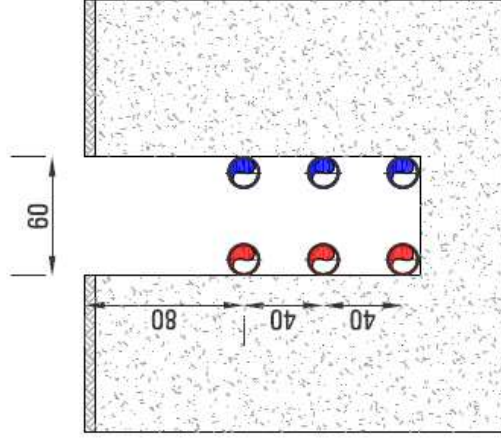
TRINCEA 2 ANELLI



Rendimenti specifici approssimativi dei tubi

Tipo di sottosuolo	W / m
terreno sabbioso secco	3,6 - 5,4
terreno sabbioso umido	5,4 - 7,2
terreno argilloso secco	7,2 - 9,0
terreno argilloso umido	9,0 - 10,8
terreno saturo d'acqua	10,8 - 14,4

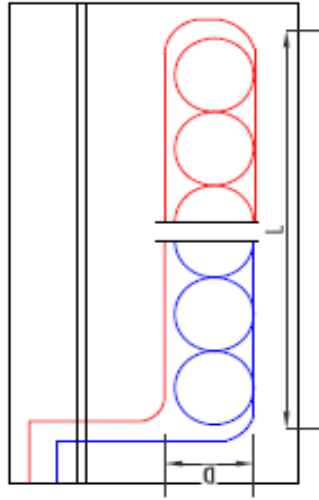
TRINCEA 3 ANELLI



Rendimenti specifici approssimativi dei tubi

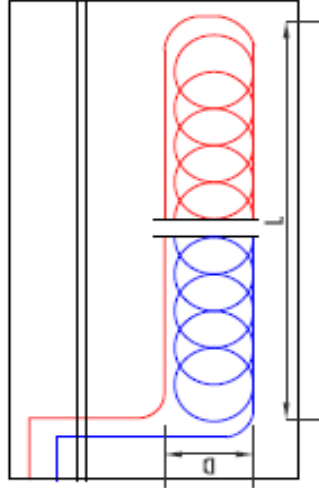
Tipo di sottosuolo	W / m
terreno sabbioso secco	3,2 - 4,8
terreno sabbioso umido	4,8 - 6,4
terreno argilloso secco	6,4 - 8,0
terreno argilloso umido	8,0 - 9,6
terreno saturo d'acqua	9,6 - 12,8

**SVILUPPO A SPIRALE COM PASSO - D**



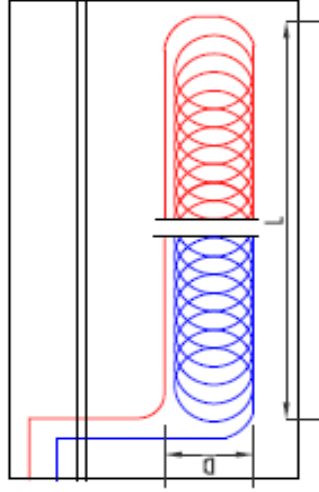
Rendimenti specifici approssimativi superficie terreno	
Tipo di sottosuolo	W / m <sup>2</sup>
terreno sabbioso secco	7 - 10
terreno sabbioso umido	10 - 13
terreno argilloso secco	13 - 16
terreno argilloso umido	16 - 20
terreno saturo d'acqua	20 - 26

**SVILUPPO A SPIRALE COM PASSO - D/2**



Rendimenti specifici approssimativi superficie terreno	
Tipo di sottosuolo	W / m <sup>2</sup>
terreno sabbioso secco	9 - 13
terreno sabbioso umido	13 - 17
terreno argilloso secco	17 - 21
terreno argilloso umido	21 - 26
terreno saturo d'acqua	26 - 34

**SVILUPPO A SPIRALE COM PASSO - D/4**



Rendimenti specifici approssimativi superficie terreno	
Tipo di sottosuolo	W / m <sup>2</sup>
terreno sabbioso secco	10 - 15
terreno sabbioso umido	15 - 20
terreno argilloso secco	20 - 25
terreno argilloso umido	25 - 30
terreno saturo d'acqua	30 - 40













## IMPIANTO A WLHP CON ANELLO ORIZZONTALE A GEOSCAMBIO

Il sistema, noto con il termine aglosassone di WLHP (Water Loop Heat Pump) consiste in un anello idraulico mantenuto ad una temperatura costante compresa tra i 20°C ed i 30°C, cui sono collegate delle pompe di calore acqua – aria o acqua – acqua. La costanza della temperatura dell'anello può essere garantita o dall'accoppiamento di un generatore di calore (caldaia o pompa di calore) e di uno smaltitore (generalmente torre evaporativa), oppure mediante il collegamento ad una sorgente geotermica alternativa, quale acque superficiali o sotterranee o terreno

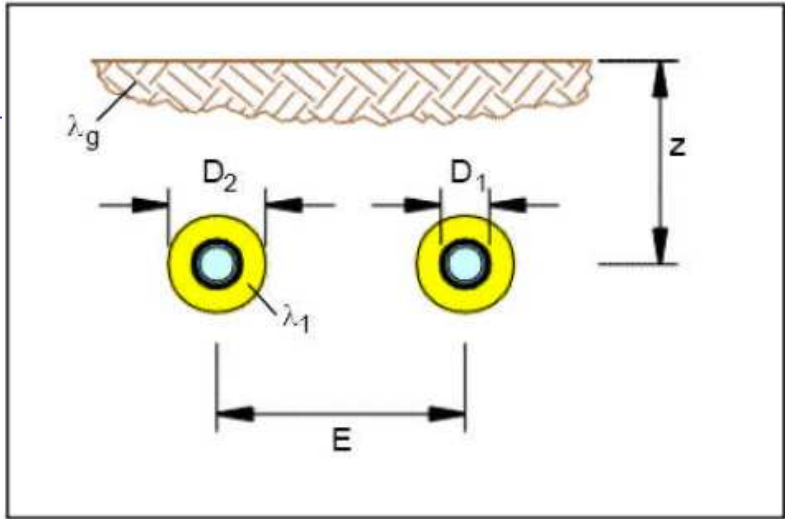
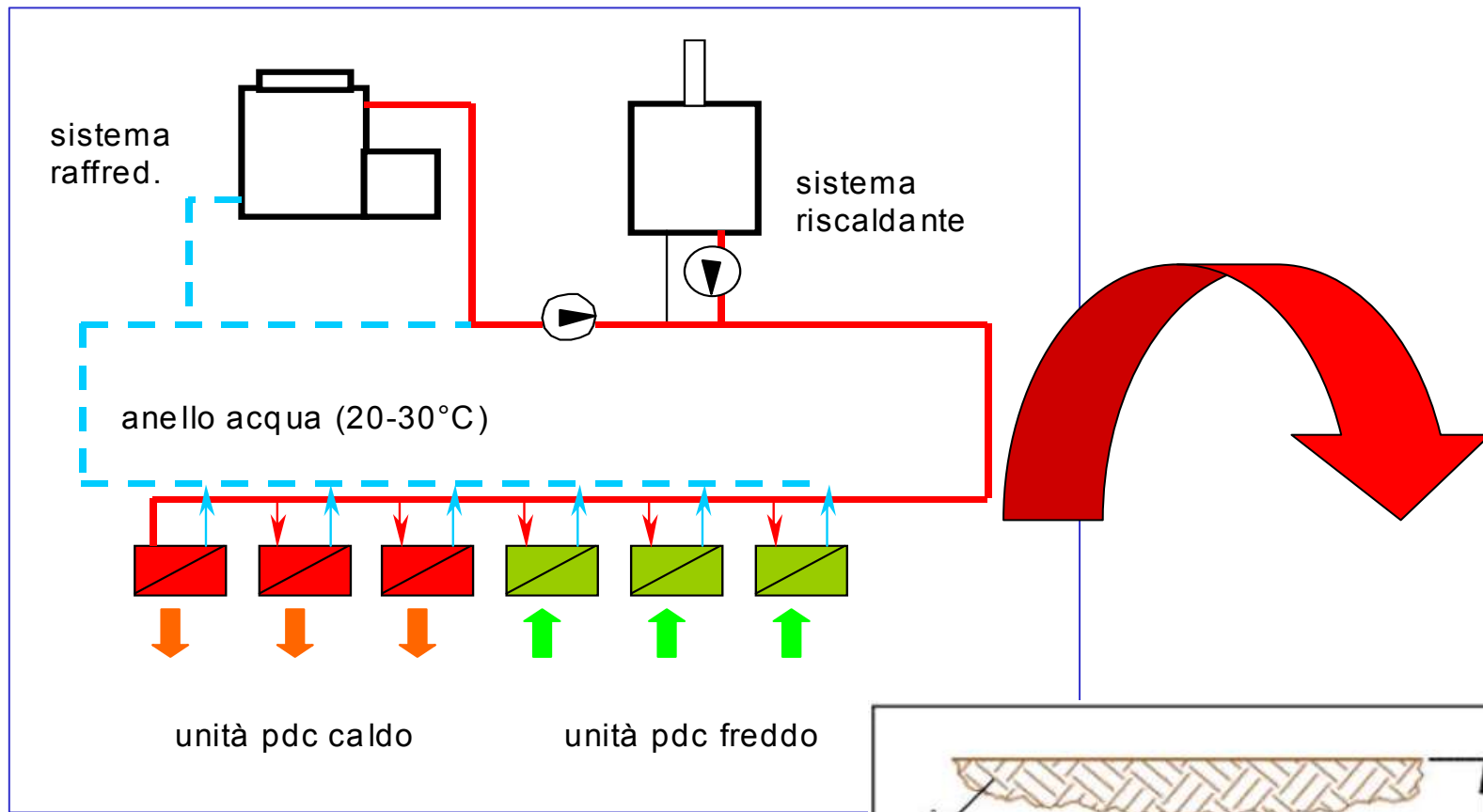
# TIPOLOGIA IMPIANTISTICA ADOTTATA

Richieste progettuali:

- Elevata efficienza impiantistica
- Minori costi di impianto e gestione
- Alta Flessibilità
- Funzionamento per lotti

Dall'analisi economica fatta con diverse tipologie impiantistiche (principalmente impianto tradizionale 4 tubi), si è deciso di sviluppare la seguente:

**POMPA DI CALORE CON ANELLO GEOTERMICO**

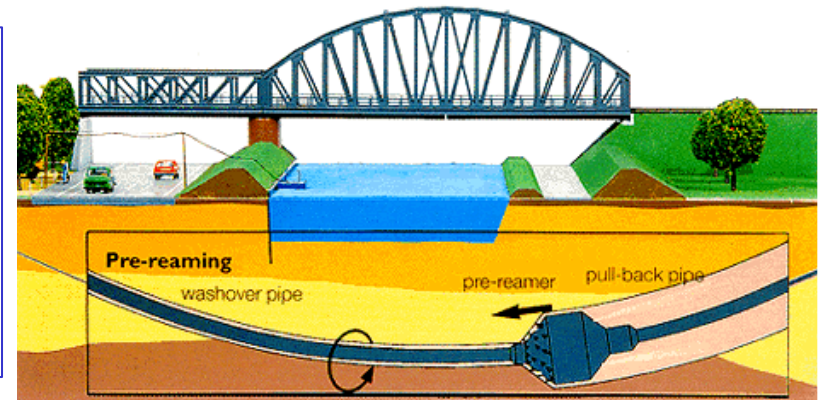
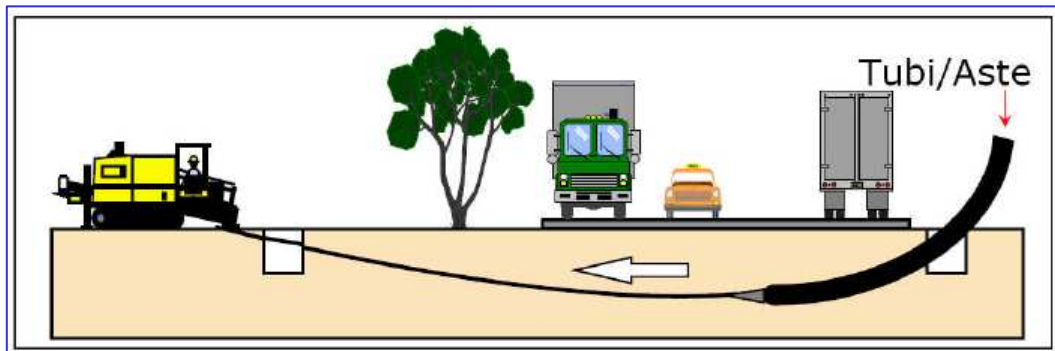


Superficie di scambio della tubazione  $S = 275 \text{ mq}$

Potenza termica trasmessa  $P_t = 400 \text{ kW}$  in estate

Ore di funzionamento estivo a regime della struttura ipotizzata = 1500 h

Energia scambiata mediamente = 588.000 kWh.



## Definizione Perforazione orizzontale controllata o H.D.D. (Horizontal Directional Drilling).

La perforazione orizzontale teleguidata è una tecnica basata sull'esecuzione di una trivellazione orizzontale in terreni che possono essere di diversa natura mediante l'infissione di una serie di aste la prima delle quali collegate ad una testa orientabile guidata dalla superficie per mezzo di sistemi di localizzazione controllata.

L'avanzamento delle aste nel terreno avviene grazie ai movimenti di spinta e rotazione esercitati dalla macchina .



## Sonda Geotermica utilizzata

### Sonde geotermiche orizzontali:

- Elevata resa ed efficienza d'impianto
- Maggiore uniformità della temperatura di scambio
- Soluzione impiantistica economica e di facile posa
- Sonda a sviluppo lineare **a ritorno inverso** (DN partenza 250, Stacchi DN 200)
- Lunghezza anello 2,5 km

- Elevate efficienze d'impianto
- COP/EER buoni sia in funzionamento a carico parziale che a carico totale
- Ingombri contenuti
- Ideale per applicazioni geotermiche

### Caratteristiche d'impianto:

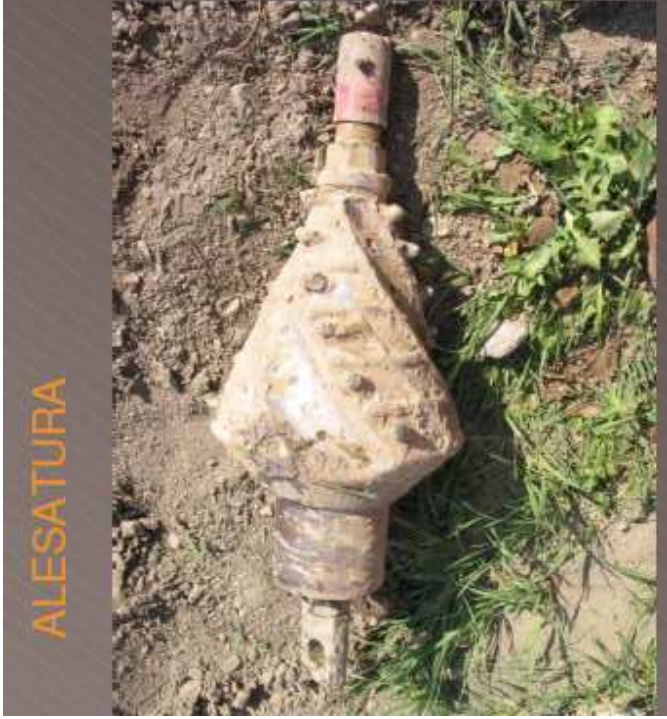
- Funzionamento indipendente delle utenze
- Possibilità di recuperare calore tra le unità interne

*Potenza geoscambiatore:  
200 kW inv.  
400 kW est.*

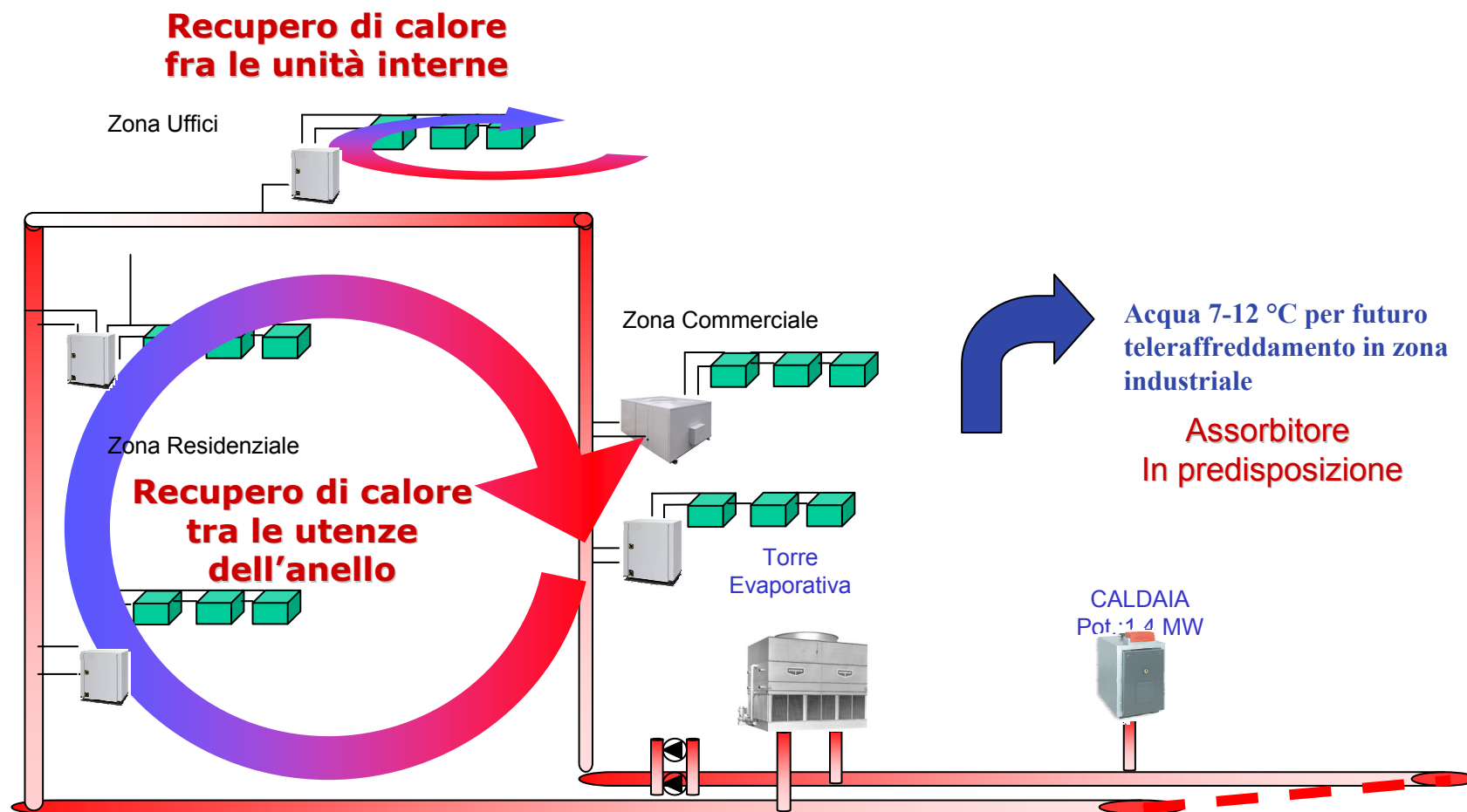
*Scambiatore posizionato ad una profondità di -4/5 m.*

*Temperatura del terreno: 12-16°C*



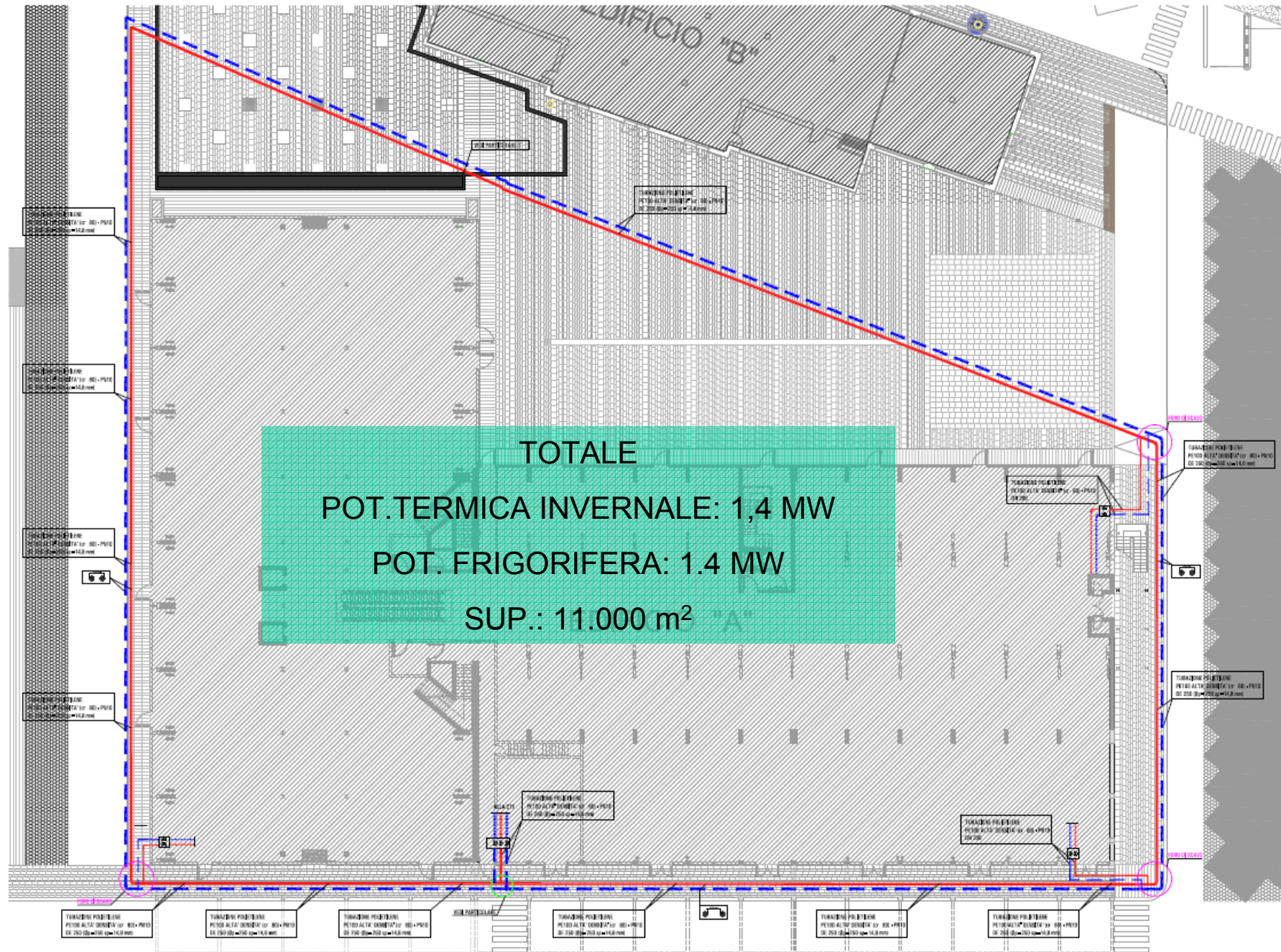


# Schema d'impianto Tipologico



Caratteristiche d'impianto:

- Funzionamento indipendente delle utenze
- Possibilità di recuperare calore tra le unità interne



TOTALE  
POT. TERMICA INVERNALE: 1,4 MW  
POT. FRIGORIFERA: 1.4 MW  
SUP.: 11.000 m<sup>2</sup>

TUBAZIONE PER BARRI  
PERO ALTA DENSITA' DI 80+P/10  
DE 200 Ø (Ø=200) sp=14,8 mm

TUBAZIONE PER BARRI  
PERO ALTA DENSITA' DI 80+P/10  
DE 200 Ø (Ø=200) sp=14,8 mm

TUBAZIONE PER BARRI  
PERO ALTA DENSITA' DI 80+P/10  
DE 200 Ø (Ø=200) sp=14,8 mm

TUBAZIONE PER BARRI  
PERO ALTA DENSITA' DI 80+P/10  
DE 200 Ø (Ø=200) sp=14,8 mm

TUBAZIONE PER BARRI  
PERO ALTA DENSITA' DI 80+P/10  
DE 200 Ø (Ø=200) sp=14,8 mm

TUBAZIONE PER BARRI  
PERO ALTA DENSITA' DI 80+P/10  
DE 200 Ø (Ø=200) sp=14,8 mm

TUBAZIONE PER BARRI  
PERO ALTA DENSITA' DI 80+P/10  
DE 200 Ø (Ø=200) sp=14,8 mm

TUBAZIONE PER BARRI  
PERO ALTA DENSITA' DI 80+P/10  
DE 200 Ø (Ø=200) sp=14,8 mm

TUBAZIONE PER BARRI  
PERO ALTA DENSITA' DI 80+P/10  
DE 200 Ø (Ø=200) sp=14,8 mm

TUBAZIONE PER BARRI  
PERO ALTA DENSITA' DI 80+P/10  
DE 200 Ø (Ø=200) sp=14,8 mm

TUBAZIONE PER BARRI  
PERO ALTA DENSITA' DI 80+P/10  
DE 200 Ø (Ø=200) sp=14,8 mm

TUBAZIONE PER BARRI  
PERO ALTA DENSITA' DI 80+P/10  
DE 200 Ø (Ø=200) sp=14,8 mm

TUBAZIONE PER BARRI  
PERO ALTA DENSITA' DI 80+P/10  
DE 200 Ø (Ø=200) sp=14,8 mm

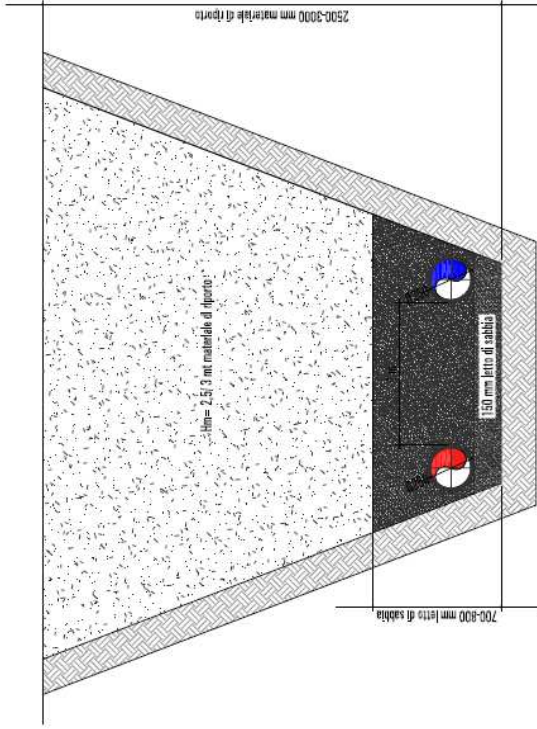
TUBAZIONE PER BARRI  
PERO ALTA DENSITA' DI 80+P/10  
DE 200 Ø (Ø=200) sp=14,8 mm

TUBAZIONE PER BARRI  
PERO ALTA DENSITA' DI 80+P/10  
DE 200 Ø (Ø=200) sp=14,8 mm

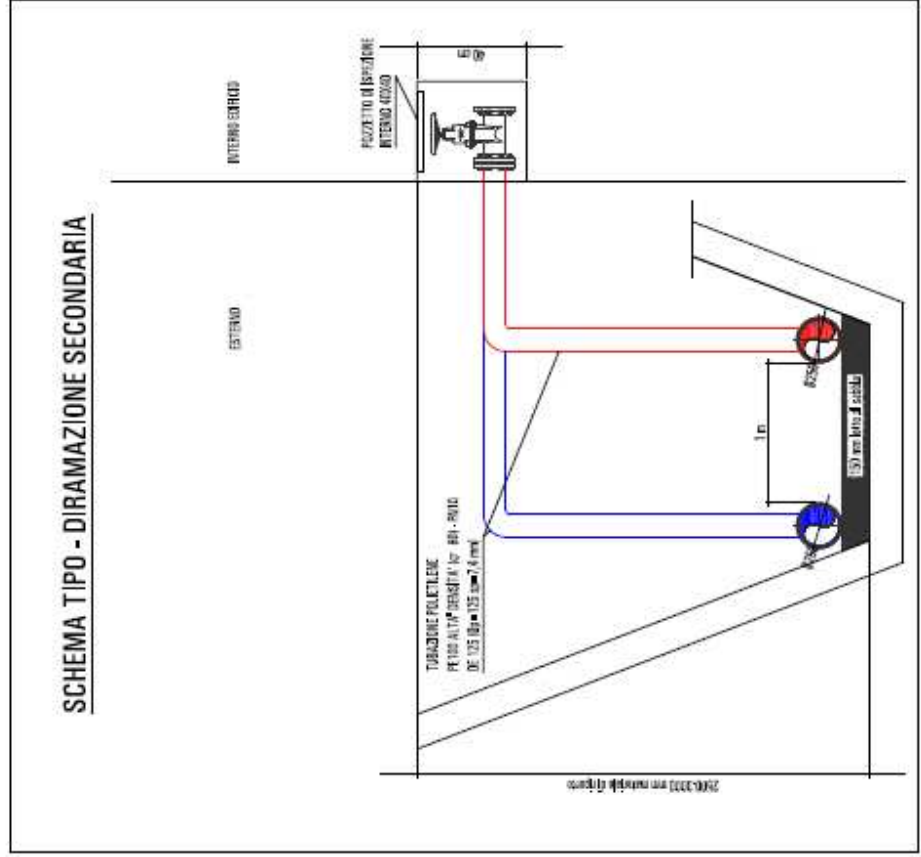
TUBAZIONE PER BARRI  
PERO ALTA DENSITA' DI 80+P/10  
DE 200 Ø (Ø=200) sp=14,8 mm

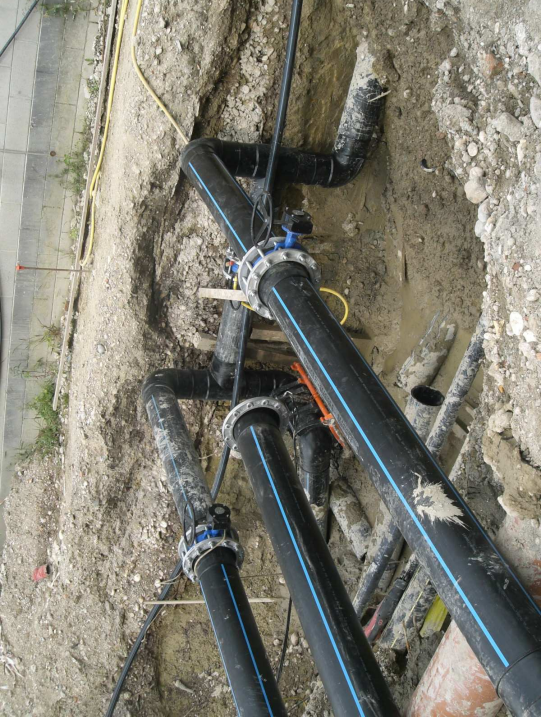
EDIFICIO "B"

## PARTICOLARE SCAVO- POSA TUBAZIONI ANELLO GEOTERMICO



## SCHEMA TIPO - DIRAMAZIONE SECONDARIA





## 100% A TERRENO?

- ottimizzazione economica: soluzioni ibride lato impianto integrando pompe di calore a terreno con tecnologie tradizionali (caldaie, chiller)

CON IL 60% DELLA POTENZA DI PROGETTO SI PUO' COPRIRE FINO AL 70-80% DEL FABBISOGNO ENERGETICO!

## OBIETTIVI PRESTAZIONALI

Il dimensionamento è sempre effettuato con l'obiettivo di ottenere temperature del fluido in ingresso alla pompa di calore al di sopra di un livello minimo invernale e al di sotto di un livello massimo estivo

Per migliorare il COP e l'EER medio stagionale è necessario incrementare il numero di sonde

## PROGETTAZIONE: RIFERIMENTI

- Riferimenti internazionali principali:
    - VDI 4640
    - Manuali ASHRAE
    - IGSHPA
    - Norme canadesi CSA448
    - Norme svizzere SIA (in particolare per pali energetici)
- IN PREPARAZIONE NORME UNI CTI (GL-608).

• ASHRAE Handbook 2003, HVAC Applications, Capitolo 32 – Geothermal Energy, ASHRAE, Atlanta, GA, 2003.

• Le pompe di calore geotermiche – A. Cavallini – Monografie Aermec Spa – 2006

• Geotermia e pompe di calore – S. Basta F. Mischio Ed. geotermia.org 2008



## CONCLUSIONI

La progettazione di un campo di sonde geotermiche verticali per impianti  $> 30$  kW è un processo articolato influenzato da

- terreno
- tipologia di sonda geotermica
- caratteristiche sistema edificio impianto

Un progetto completo ed affidabile non può prescindere dall'analisi dettagliata di tutti questi aspetti.

## QUANTI “W/m”?

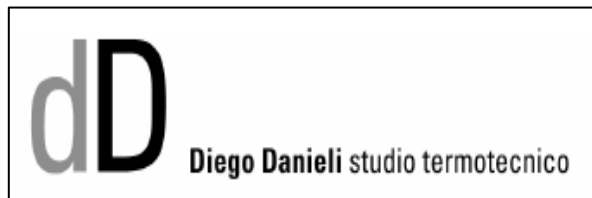
- **RISPOSTA:** Dipende dalla tipologia di sistema che vado a servire.

A parità di pompa di calore, di terreno e di tipo di sonda applicazioni con curve di carico diverse avranno bisogno di un numero di sonde diverso!!

# GRAZIE PER L'ATTENZIONE

Ing. Diego Danieli

In collaborazione con:



**ing. Fabio Minchio**

Ph.D. in energetica

