



REGIONE SICILIANA  
**ASSEMBLEA REGIONALE SICILIANA**

PROGRAMMA OPERATIVO INTERREGIONALE

"Energie rinnovabili e risparmio energetico"

2007-2013

Linea di attività 1.3 "Interventi a sostegno della produzione di energia da fonti rinnovabili nell'ambito dell'efficientamento energetico degli edifici e utenze energetiche pubbliche o ad uso pubblico"

**L'Ex Chiesa dei Santi Elena e Costantino**  
**Realizzazione di un impianto geotermico a bassa entalpia**

**PROGETTO ESECUTIVO**

(Art. 33 D.P.R. 207/10)

**ELABORATO:**  
**RELAZIONE TECNICA SPECIALISTICA IMPIANTI**

**TAV. A.02**

Progettisti:

Progettazione architettonica Arch. Giuseppina Limblici

Progettazione impianti Ing. Enrico Petralia

Studio geologico Dott. Geologo Ignazio Giuffrè

Collaboratori: Ing. Andrea Catalano

Commitente: Assemblea Regionale Siciliana

R.U.P. Ing. Giulio Cavaio

versione:	descrizione:	preparato:	approvato:	data:
01	Progetto Esecutivo			febbraio 2012
Nome file:			Distribuzione: Riservata	



Regione Siciliana

Assemblea Regionale Siciliana

*“L'ex Chiesa dei Santi Elena e Costantino*

*“Realizzazione di un impianto geotermico a bassa entalpia”*

*POI*

*“Energie rinnovabili e risparmio energetico”*

**Relazione tecnica specialistica impianti**

## **INDICE**

---

<b>1. GENERALITÀ .....</b>	<b>2</b>
<b>2. PREMESSA .....</b>	<b>2</b>
<b>3. RIFERIMENTI NORMATIVI: .....</b>	<b>3</b>
<b>4. CRITERI PROGETTUALI.....</b>	<b>4</b>
<b>5. DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI.....</b>	<b>5</b>
<b>6. CENNI SULLA GEOTERMIA.....</b>	<b>6</b>
<b>7. IMPIANTO DI CLIMATIZZAZIONE ESTIVO/INVERNALE CON POMPA DI CALORE GEOTERMICA .....</b>	<b>7</b>
<b>8. VALUTAZIONI ENERGETICHE ED IMPATTO AMBIENTALE .....</b>	<b>10</b>
<b>ENERGIA RECUPERATA CON FONTE RINNOVABILE GEOTERMICA .....</b>	<b>12</b>
<b>9. IMPIANTO GEOTERMICO CON POZZI VERTICALI DI PROGETTO.....</b>	<b>12</b>
<b>10. CALCOLO E DIMENSIONAMENTO DEL GEOSCAMBIATORE .....</b>	<b>17</b>
<b>11. PERFORAZIONE E PRESCRIZIONI TECNICHE .....</b>	<b>21</b>
<b>12. ZONE INTERESSATE DAL PROGETTO .....</b>	<b>30</b>
<b>13. IMPIANTO A VENTILCONVETTORI SALA CONFERENZE 1° PIANO .....</b>	<b>33</b>
<b>14. CONFRONTO ENERGETICO TRA DUE SISTEMI.....</b>	<b>39</b>

## 1. GENERALITÀ

---

La presente relazione tecnica viene prodotta in seno alla redazione della stesura del progetto esecutivo riguardante il POI, "Energie rinnovabili e risparmio energetico" 2007-2013 - Linea di attività 1.3 "Interventi a sostegno della produzione di energia da fonti rinnovabili nell'ambito dell'efficientamento energetico degli edifici e utenze energetiche pubbliche o ad uso pubblico" presso l'edificio dell'Ex Chiesa dei SS. Elena e Costantino sede dell'Archivio Storico dell'Assemblea Regionale Siciliana, per la realizzazione di un impianto geotermico a bassa entalpia" con pompe di calore, con le procedure di cui al D.L.gs.163/06 e ss.mm.ii. così come recepito dalla Regione Siciliana.

## 2. PREMESSA

---

In seguito ai rilievi eseguiti, all'acquisizione delle planimetrie architettoniche ed agli elaborati grafici relativi agli impianti termici esistenti, si è proceduto a dimensionare l'impianto geotermico in oggetto per nuovo insediamento di progetto dei relativi impianti e servizi al fine di sostituire delle pompe di calore esistenti.

Le pompe di calore esistenti del tipo Aria-Acqua, sono utilizzate per fornire energia termica per le seguenti zone :

➤ **Ex Chiesa S.S. Elena e Costantino**

- Impianti con terminali a ventilconvettori;
- Impianto di rinnovo con aria primaria;
- Impianti a pavimento radiante.

All'interno del progetto la sensibilizzazione a dotare gli edifici con elevate prestazioni energetiche impongono sempre più una diligente valutazione delle misure da adottare al fine di raggiungere livelli ottimali di contenimento dei consumi di energia in funzione dei costi e delle condizioni al contorno.

La scelta dell'utilizzo di pompe di calore con impianti geotermici con elevata prestazione energetica, l'innovazione tecnologica e la diffusione di sistemi a risparmio energetico si pongono come obiettivo principale la riduzione dei consumi elettrici e delle emissioni di gas serra (CO<sub>2</sub>) provenienti dall'utilizzo di sistemi per la climatizzazione ambientale.

Ipotizzando una crescita sostenibile, è necessario mirare a ridurre le emissioni di CO<sub>2</sub> provenienti dai nuovi insediamenti tendendo ad ottenere edifici ad "energia quasi

zero" così come dettato dalla recente Direttiva Europea 2010/31/UE (art.9,c.a) per gli stati membri a partire dal 31/12/2010. Intendendo per edifici ad "energia quasi zero" un edificio ad altissima prestazione energetica, con fabbisogno energetico molto basso coperto in misura significativa da fonti rinnovabili, compresa l'energia da fonti rinnovabili reperibile in loco o nelle vicinanze.

La prestazione energetica di un edificio è determinata sulla base della quantità di energia, reale o calcolata, consumata annualmente per soddisfare le varie esigenze legate ad un uso normale dell'edificio e corrisponde al fabbisogno energetico per il riscaldamento e il raffrescamento (energia necessaria per evitare un surriscaldamento) che consente di mantenere la temperatura desiderata dell'edificio e coprire il fabbisogno di acqua calda.

Per quanto esposto in premessa, la presente relazione ha come scopo la progettazione esecutiva degli impianti di generazione, a supporto degli impianti di distribuzione esistenti per la climatizzazione estiva ed invernale utilizzando come fonte di energia alternativa la geotermia a bassa entalpia, mediante pompe di calore e sonde geotermiche verticali per la dissipazione del calore di condensazione.

### **3. RIFERIMENTI NORMATIVI:**

---

- UNI 10339 - Impianti aeraulici ai fini del benessere;
- UNI EN ISO 17390- Calcolo dell'energia primaria;
- UNI TS 11300 -2 -2008 Calcolo delle prestazioni energetiche degli edifici;
- D.M. 07.10.1991 - Norme transitorie per il contenimento dei consumi energetici;
- LEGGE 09.01.1991 N. 10 - Norme per l'attuazione del Piano Energetico Nazionale in materia di uso razionale dell'energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia;
- D.P.C.M. 05.12.1997- Determinazione dei valori limite delle sorgenti sonore;
- D.M.16.3.1998 Tecniche di rilevamento e di misurazione dell'inquinamento acustico;
- REGOLAMENTI DI IGIENE - In vigore nel comune nel quale si eseguono gli impianti;
- LEGGE n°. 37 del 22.1.2008 - Norme per la sicurezza degli impianti;
- D.L.G.S. n°. 81/2008 Testo Unico - Attuazione delle direttive CEE in materia di sicurezza negli ambienti di lavoro;
- Decreto 31-3-2003 reazione al fuoco condotte;
- DLgs n°152/2006 in materia d'inquinamento ambientale
- DLgs n°192-2005 integrato con D.Lgs311\_2006 – Risparmio energetico degli edifici;

- D.P.R. n°59 del 2.4.2009 – Attuazione dell'art.4 DLgs 192/05 – Dir2002/91/CE sul rendimento energetico degli edifici;
- D.M. 26.06.2009 - Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici;
- D.L. n°115 del 30.05.2008 – Attuazione della Dir 2006/32/CE relativa all'efficienza degli usi finali dell'energia e i servizi energetici e abrogazione della Dir 93/76/CE;
- Direttiva Europea 2010/31/UE 2010/31/UE – Prestazione energetica degli edifici;
- UNI/CTI\_24.09.2010 – GL608/SG01- Sistemi geotermici a pompa di calore; Requisiti per il dimensionamento e la progettazione;
- Norma VDI4640/2000 - "Thermal use of the ground. Ground source heat pump systems".

#### 4. CRITERI PROGETTUALI

La realizzazione degli impianti geotermici, al servizio delle zone indicate, é stata studiata e formulata, sulla base dell'individuazione di macchine di climatizzazione vetuste con COP inadeguati, delle potenze termiche, e dalle caratteristiche degli ambienti serviti, oltre a contribuire al miglioramento dell'impatto tecnologico nel sito di evidente natura storica.

Condizioni termoigrometriche di progetto:

PARAMETRI	ESTATE		INVERNO	
	INTERNO	ESTERNO	INTERNO	ESTERNO
TEMPERATURA °C	25÷27	34	18÷20	5
UMIDITA' RELATIVA %	50÷55	60	50÷60	86

Nel seguito sono tracciate le scelte principali applicate per rispondere a tali obiettivi, anche sotto gli aspetti della sicurezza. Le scelte progettuali sono state improntate ad un rispetto rigoroso della lettera e dello spirito delle vigenti normative nazionali ed europee.

Le misure nei confronti del rischio di incendio sono state essenzialmente:

##### a) SICUREZZA

- scelta di materiali autoestinguenti e non propaganti l'incendio e a bassa emissione di gas tossici per la realizzazione delle reti di distribuzione e delle coibentazioni e rivestimenti isolanti;

- scelta di apparecchiature intrinsecamente sicure, tali da non essere causa prima o alimento di incendi;
- disposizione di tutte le apparecchiature in aree tecniche esterne o in locali tecnici dedicati, segregati da compartimentazioni REI 120 dalle altre zone degli edifici;

b) AFFIDABILITÀ E MANTENIMENTO NEL TEMPO DEL VALORE DELL'INVESTIMENTO

Gli obiettivi di elevata affidabilità e durata degli impianti sono stati perseguiti attraverso gli interventi seguenti:

- centro di supervisione impianti con programma di manutenzione preventiva;
- scelta di apparecchiature normalizzate e prodotte da case con consolidata presenza sul mercato internazionale, provviste di efficienti servizi di assistenza;
- soluzioni impiantistiche e apparecchiature di elevato standard qualitativo e contenuto tecnico innovativo;
- previsione di spazi di rispetto nelle centrali tecniche tali da garantire il completo accesso alle apparecchiature per una facile manutenzione e rispettando le indicazioni delle case costruttrici dei componenti;
- dotazione strumentale completa, atta a garantire il controllo del funzionamento degli impianti e delle singole apparecchiature, con gli opportuni collegamenti al controllo centralizzato;
- definizione precisa, tramite specifiche tecniche, della qualità dei materiali e delle modalità di installazione.

## **5. DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI**

---

Gli impianti oggetto degli interventi sono principalmente:

- a) Impianto a pompa di calore acqua-acqua a bassa entalpia per la climatizzazione estiva ed invernale;
- b) Impianti di regolazione della temperatura di scambio con elettropompa inverter, impianti di distribuzione fluidi ai terminali con elettropompa a portata costante, contabilizzazione energia termica ed elettrica, supervisione con strumenti in campo e sistema di regolazione a controllo digitale diretto predisposto per il collegamento a un sistema di supervisione.

- c) Impianto geotermico di scambio con sonde verticali;
- d) Impianto a ventilconvettori sala conferenze e mostre 1° piano.

Il Sistema di climatizzazione scelto tra le tipologia finanziabili per le iniziative aventi le finalità di cui all'intervento in oggetto è del tipo a Pompa di Calore Geotermica a bassa entalpia con sonde verticali, esso è un sistema di produzione dell'energia termica da destinare agli impianti di climatizzazione per le zone interessate dal progetto all'interno della Ex Chiesa dei SS. Elena e Costantino sede dell'Archivio Storico dell'Assemblea Regionale Siciliana, istituzione del Parlamento Regione Sicilia.

Nella sua forma base è costituito da unità esterne raffreddate ad acqua per mezzo di una serie di sonde geotermiche scambianti con il terreno.

Si tratta di un sistema di climatizzazione nel quale possono essere collegate più unità esterne in parallelo.

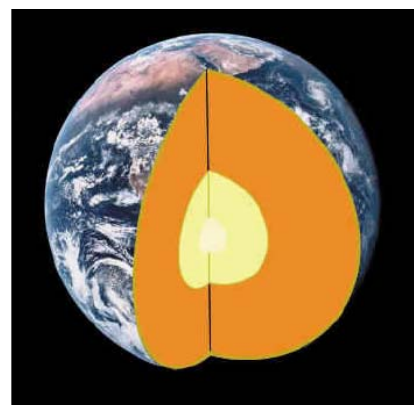
Il refrigerante utilizzato come fluido vettore nei circuiti frigo della PdC è l'R410a, refrigerante senza cloro, sicuro in quanto il suo ODP (Ozone Depletion Potential - potenziale di impoverimento dell'ozono) è quasi zero.

## **6. CENNI SULLA GEOTERMIA**

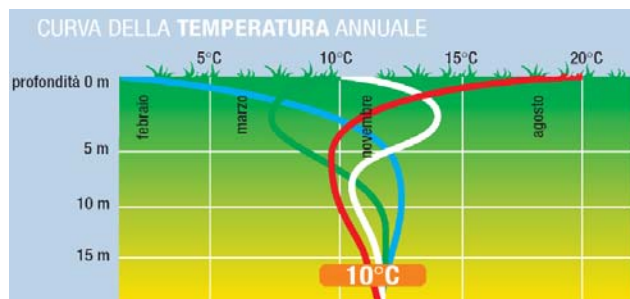
Il calore fluisce dal centro (diverse migliaia di gradi) verso la periferia della Terra (più fredda). Questo calore mantiene costante la temperatura del sottosuolo, durante tutto l'anno, anche d'inverno. A circa 100 metri di profondità, anche in assenza di zone termali o vulcaniche, si hanno temperature tra 15 e 17°C.

L'energia geotermica è quella immagazzinata nella crosta terrestre e può essere estratta dalle pompe di calore attraverso dei sistemi di sonde. L'energia geotermica è la somma di due componenti principali: il calore proveniente dagli strati più profondi della terra ed il calore proveniente dall'ambiente esterno originato dal sole.

Il calore ambiente che si origina dal sole influenza solo lo strato più superficiale della crosta terrestre e perde di rilevanza già oltre i 20 m di profondità. Oltre la



profondità di 100 m diviene influente il gradiente geotermico dovuto al calore proveniente dal centro della terra, con una crescita di temperatura di 30 °C ogni 1000 m.



Andamento della temperatura con la profondità

L'energia termica immagazzinata nel terreno può essere valorizzata attraverso una pompa di calore ed impiegata per la climatizzazione. Le applicazioni geotermiche di tipo tradizionale prevedono un sistema di scambiatori in cui fluisce un fluido termovettore scambiante con il terreno. Il terreno viene usato in questo modo come serbatoio di stoccaggio in estate e serbatoio di prelievo in inverno.

Per esigenze di raffrescamento non elevate, si può bypassare la pompa di calore, usando la sola differenza di temperatura del terreno per ottenere le condizioni di comfort richieste in ambiente: si parla in questo caso di free-cooling con il quale è possibile avere anche una significativa riduzione dei costi di gestione.

Una distinzione riguardante gli impianti geotermici è quella tra sistemi a bassa entalpia ed alta entalpia: per entalpia si intende l'energia termica immagazzinata in una determinata massa.

In riferimento ad un impianto geotermico si parla pertanto di sistema a bassa entalpia per i campi geotermici con temperature inferiori a 100 °C; per temperature del fluido di lavoro superiori a 100 °C si parla invece di alta entalpia: l'utilizzo di un campo geotermico a bassa entalpia risulta molto più agevole per via delle basse profondità in gioco (50÷150m).

## **7. IMPIANTO DI CLIMATIZZAZIONE ESTIVO/INVERNALE CON POMPA DI CALORE GEOTERMICA**

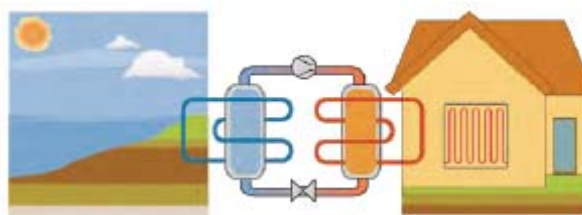
L'impianto di climatizzazione che s'intende realizzare è principalmente costituito da una o più unità a pompa di calore del tipo acqua-acqua, e da circuiti idraulici con sonde di scambio termico a sviluppo verticale.

## Pompa di calore Geotermica

La pompa di calore è un dispositivo che permette di spostare calore da un sistema ad una certa temperatura ad un sistema a temperatura superiore. Analogamente ad una pompa idraulica che solleva acqua da un livello inferiore ad uno superiore, la pompa termica porta il calore da un livello termico più basso ad un livello termico più alto e quindi utilizzabile ai fini della climatizzazione.

L'innalzamento del livello termico avviene tramite uno scambio termico tra due fluidi distinti ed esterni alla pompa di calore, uno per l'ambiente esterno e l'altro per l'ambiente da climatizzare.

Tra questi due ambienti si interpone il circuito frigorifero, cuore della pompa di calore, all'interno del quale il fluido refrigerante subisce le trasformazioni che ne rendono possibile il funzionamento.



La pompa di calore di costruzione compatta, è progettata per prelevare calore attraverso un circuito chiuso di acqua glicolata, ad esempio dal terreno per mezzo di una sonda geotermica e fornirlo sotto forma di acqua calda. Secondo le differenti esigenze, è possibile disporre di un impianto completo, adatto a diverse tipologie applicative. Le potenze termo-frigorifere disponibili attualmente in commercio consentono un'ampia flessibilità di scelta per utilizzi in riscaldamento/raffreddamento, che in gergo vengono chiamate pompe di calore reversibili.

### Caratteristiche:

- Compressori SCROLL ermetici montati su doppi supporti ammortizzati interni.
- Evaporatore e condensatore a piastre di acciaio inossidabile;
- Doppio circuito frigorifero;
- Soft-starter per ridurre le correnti di avviamento;
- Sottoraffreddatore.
- Carica di refrigerante ecologico R410a.
- Elevate prestazioni di efficienza COP e EER
- Elevata silenziosità.

Il COP, (Coefficient of performance) è il Coefficiente di prestazione invernale, unità di misura dell'energia utile che un sistema può fornire rispetto a quella che

consuma. Rappresenta il rapporto tra l'energia prodotta e l'energia consumata di un sistema. L'EER (Energy Efficiency Ratio) è il Rapporto di efficienza energetica, per funzionamento in raffrescamento. Il parametro è definito dal rapporto tra l'energia frigorifera prodotta e l'energia elettrica assorbita. Entrambe misurate in KWh, rilevate in laboratorio in condizioni normalizzate. Più la cifra è alta, più il sistema viene considerato efficiente.

La caratteristica principale di funzionamento degli impianti di geoscambio a bassa entalpia senza prelievo di acqua di falda risiede nell'elevata capacità di accumulo termico del sottosuolo, non essendo questo minimamente influenzato dalle variazioni giornaliere e stagionali della temperatura dell'ambiente esterno sopra la superficie terrestre. Infatti la Terra può essere assimilata ad un immenso "serbatoio di calore" tale da contenere entro i primi 5 km di crosta un quantitativo di energia termica equivalente a circa 500.000 volte gli attuali fabbisogni mondiali.

E' importante evidenziare che questa energia termica (calore a bassa entalpia) presenta le positive caratteristiche di essere:

- costante nel tempo;
- assolutamente priva di fluttuazioni meteorologiche giornaliere e/o stagionali.

Tutto ciò consente di avere una temperatura media del terreno pressoché costante durante tutto l'anno permettendo il raggiungimento di ottime prestazioni energetiche del geoscambiatore e della pompa di calore, con tipologia acqua-acqua, installata nella centrale termofrigorifera.

Infatti, la temperatura del terreno già ad una profondità di 7÷10 m rimane indifferente all'alternarsi dei cicli stagionali conservandosi indisturbata e generalmente pari alla temperatura media annuale della località geografica in esame. In Italia la temperatura climatica media annuale, considerando un valore medio sul territorio nazionale, può essere stimata in 15°C.

Disporre di un simile livello termico del terreno significa avere a disposizione un'enorme quantità di energia termica a bassa entalpia che può essere utilizzata sia come "sorgente" energetica, sia come "pozzo" energetico per unità refrigeranti acqua-acqua a compressione di vapori di HFC in versione pompa di calore.

Nel periodo invernale il terreno rappresenta una sorgente energetica ad una temperatura ideale per massimizzare la pressione di evaporazione del refrigerante a

tutto beneficio dell'efficienza energetica dell'unità (massimizzazione dei valori di COP dell'unità).

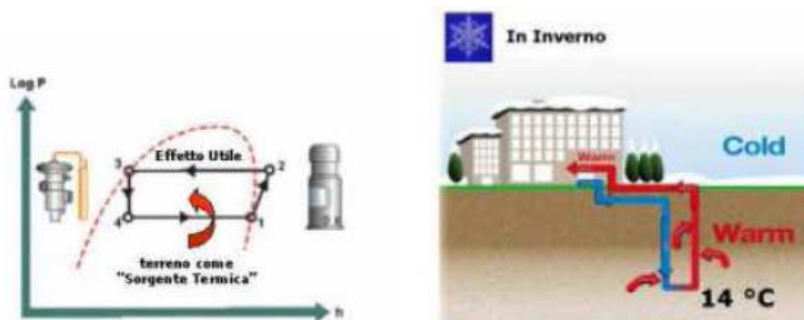


Fig. 2: utilizzo invernale del geoscambiatore come sorgente di calore da consegnare all'edificio

Nel periodo estivo il terreno rappresenta invece un ottimo scambiatore caratterizzato da un livello termico tale da minimizzare la pressione di condensazione dell'unità sempre a beneficio della sua resa energetica (massimizzazione dei valori di EER dell'unità).

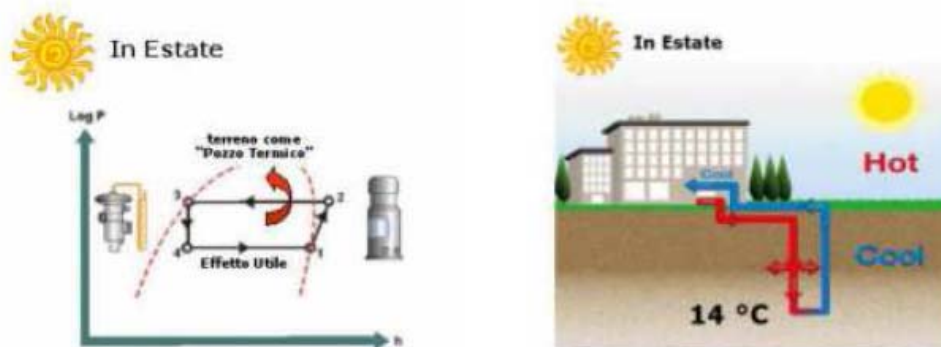


Fig. 3: utilizzo estivo del geoscambiatore come pozzo di calore sottratto all'edificio

## 8. VALUTAZIONI ENERGETICHE ED IMPATTO AMBIENTALE

L'uso estensivo di pompe di calore che utilizzino la geotermia a bassa entalpia come sorgente termica, in un paese come la Sicilia caratterizzato da un clima estivo torrido con un'asimmetria nelle magnitudini dell'irraggiamento solare e delle temperature da marzo ad ottobre, può concorrere a ridurre drasticamente le emissioni di gas ad effetto serra prodotti dagli impianti di climatizzazione (riscaldamento e raffreddamento) delle strutture edilizie. Il terreno come anticipato in precedenza è infatti, un grande volano energetico che in inverno mantiene temperature medie superiori a quelle medie dell'aria e si comporta in maniera opposta d'estate.

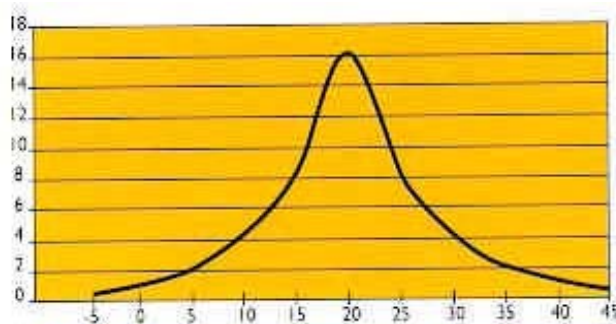
In queste condizioni le pompe di calore raffreddate o riscaldate dall'acqua da impianto geotermico invece che dall'aria, hanno rendimenti tali da costituire un'alternativa economica, anche dal punto di vista dell'impatto ambientale, ai sistemi di riscaldamento e climatizzazione basati su sistemi a combustione.

Si ha, cioè, una disponibilità energetica molto superiore a quella richiesta per la climatizzazione edilizia, a temperatura relativamente più vantaggiosa rispetto all'aria in tutte le stagioni.

Si deve osservare che sia l'apporto e la sottrazione totale di questo calore a  $T=3<45^{\circ}\text{C}$ , avrà un impatto ambientale quasi nullo sull'influenza sensibile della temperatura del terreno.

La pompa di calore è una macchina diffusissima ed a tecnologia consolidata; essa è un sistema che realizza un ciclo frigorifero invertibile. Gli impianti di condizionamento estivi, funzionano con pompe di calore che trasportano calore da un ambiente ad un altro che si trova a più alta temperatura. Questo trasporto è realizzato utilizzando energia che nella stragrande maggioranza dei casi è in forma elettrica.

Temperatura del pozzo termico  $^{\circ}\text{C}$



COP di un impianto tipico commerciale che immette o assorbe calore da un ambiente a  $20^{\circ}\text{C}$

L'efficienza di una pompa di calore è misurata dal Coefficiente di Prestazione (COP) definito come rapporto tra la quantità di calore trasportato e la quantità di energia spesa per trasportarlo. Il COP di una pompa di calore risente moltissimo della differenza di temperatura alla quale si trovano i due ambienti tra i quali il calore deve essere trasportato.

Il grafico sopra riporta, per una tipica pompa di calore commerciale di dimensioni medie industriali, l'andamento del COP nelle condizioni in cui un ambiente voglia essere mantenuto alla temperatura di  $20^{\circ}\text{C}$ , avendo a disposizione pozzi termici da cui estrarre potenza termica a temperatura costante. Analizzando questo grafico si

capisce perché non convenga usare pompe di calore ad aria per il riscaldamento invernale. Infatti, se la temperatura esterna è prossimo a 5 °C, il COP risulta attorno a 2.

Ciò significa che per trasportare due unità di calore dell'aria all'ambiente da riscaldare si deve spendere un'unità di lavoro. Poiché questo lavoro è realizzato sotto forma di energia elettrica e per produrlo, all'origine si devono avere a disposizione circa tre unità di calore da combustione, è sicuramente conveniente riscaldare direttamente da combustione.

Le cose peggiorano drammaticamente se la temperatura è attorno allo zero o addirittura più bassa. Ma se si ha a disposizione un pozzo termico con temperatura più elevata, così come è per il terreno che al minimo nelle stagioni invernali è a 14 °C, il COP che ne risulta è circa a 4, quindi, con un consumo per la produzione elettrica di tre unità di calore se ne trasportano cinque.

Il vantaggio energetico, ambientale in termini di rilascio e, in ultima analisi, economico, rispetto alla combustione diretta, è di circa il 40% come anticipato in precedenza.

Nel caso del condizionamento estivo è altrettanto evidente il vantaggio dell'uso del terreno come pozzo termico. La temperatura oltre i 50 m del terreno risulta costante attorno ai 15 °C assicura un COP di circa 5, mentre quella dell'aria attorno ai 30 °C ne permette uno di circa 3.

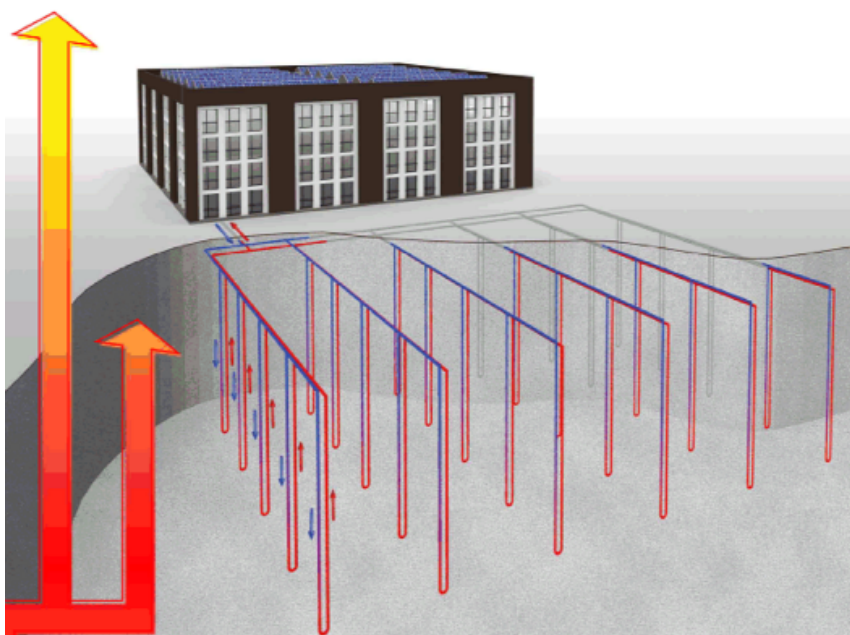
ENERGIA RECUPERATA CON FONTE RINNOVABILE GEOTERMICA		
Portata acqua di condensazione di progetto		
Q :	54÷66	mc/h
Dt:	3÷5	°C
Potenza termica fruibile		
C:	318÷375	Kwf-kwt

## 9. IMPIANTO GEOTERMICO CON POZZI VERTICALI DI PROGETTO

La tipologia più diffusa di impianti geotermici sfrutta sonde di tipo verticale che penetrano nel terreno attraverso pozzi geotermici di profondità limitata, dell'ordine dei 100 m. Per un unico impianto sono richiesti più pozzi il cui numero dipende dal fabbisogno termico da soddisfare e dalla resa termica del sottosuolo da cui l'energia termica deve essere estratta.

L'acqua, circolando nelle geosonde, a seconda circostante. D'inverno il calore prelevato dal terreno viene valorizzato dalla pompa di calore geotermica, per riscaldare gli ambienti. D'estate la pompa di calore sottrae il caldo dagli ambienti, raffrescandoli, per poi cederlo nuovamente al terreno attraverso le geosonde verticali.

Il geoscambiatore sarà realizzato con perforazioni a "distruzione di nucleo", con trascinamento di un'armatura metallica di rivestimento del perforo, a circolazione diretta di aria compressa e semplice acqua (in minima parte). Si è tenuto conto dell'influenza termica del primo strato superficiale del terreno che risente dell'alternarsi dei cicli stagionali, influenzando negativamente sull'efficienza dei primi metri della geosonda verticale. Il numero delle geosonde verticali che caratterizzano l'installazione è strettamente dipendente dalla profondità assegnata al geoscambiatore, profondità che deve necessariamente essere uguale per tutte le geosonde che compongono lo scambiatore.



La scelta della distanza minima tra due successive geosonde è il risultato di un processo di dimensionamento ed ottimizzazione delle prestazioni attese dal geoscambiatore, e rappresenta la sintesi di differenti esigenze tecniche e vincoli impiantistici quali:

- capacità di scambio termico del terreno (conducibilità e diffusività termica);

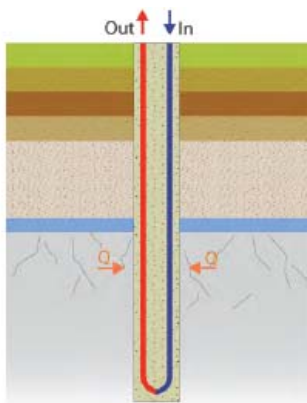
- range massimo di oscillazione annuale della temperatura del fluido termovettore intermedio (semplice acqua grezza se il geoscambiatore è opportunamente dimensionato);
- tipologia di arrangiamento e/o configurazione della matrice di geosonde inserite nel terreno;
- estensione e arrangiamento geometrico della superficie utile e disponibile ai fini dell'installazione del campo di geoscambio (sonde verticali);
- compromesso tra un effetto termicamente rigenerativo del terreno e un effetto ricercato ed utile, di "heat-storage" o "cool-storage" negli strati profondi di terreno;
- Spazi a disposizione per i geoscambiatore.

La realizzazione dei pozzi è stata preceduta da una serie d'indagini finalizzate alla determinazione dei seguenti parametri:

- conducibilità termica;
- densità;
- presenza di umidità;
- stratificazione del sottosuolo.

La conducibilità termica dei materiali costituenti il sottosuolo è determinante ai fini del dimensionamento del campo geotermico, per le quali si rimanda alla relazione geologica allegata al progetto, riportanti la conducibilità e la relativa potenza termica estraibile dai diversi tipi di suolo e di roccia.

Le sonde con sviluppo verticale richiedono delle perforazioni, con profondità variabili tra 80 e 150 m: le modalità operative con cui realizzare queste perforazioni



sono variabili in base al tipo di sottosuolo ed alle tecnologie disponibili.

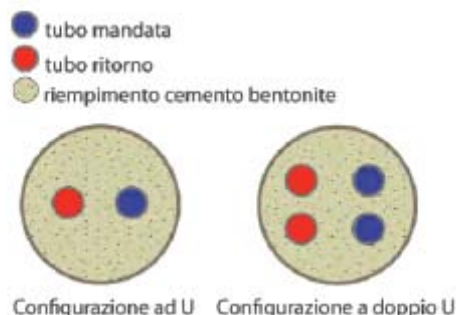
Alle profondità suddette il terreno mantiene una temperatura che si aggira intorno ai 15°C senza risentire delle variazioni climatiche esterne.

All'interno delle perforazioni saranno calate delle sonde costituite da tubi di piccolo diametro (20-50 mm) in polietilene

reticolato pex-a, con condizioni standard di esercizio (temperatura 15°C, pressione 16 bar).

La suddetta scelta del tipo di tubo in base alle condizioni di esercizio, garantisce una vita utile delle sonde anche superiore ai 100 anni. Tra le possibilità di posa del tubo ci sono la configurazione ad U e a doppio U.

La configurazione a doppio U presenta il duplice vantaggio di consentire un migliore scambio termico con il terreno e contemporaneamente in caso di malfunzionamento di un tubo, l'altro essendo indipendente può comunque alimentare la pompa di calore.

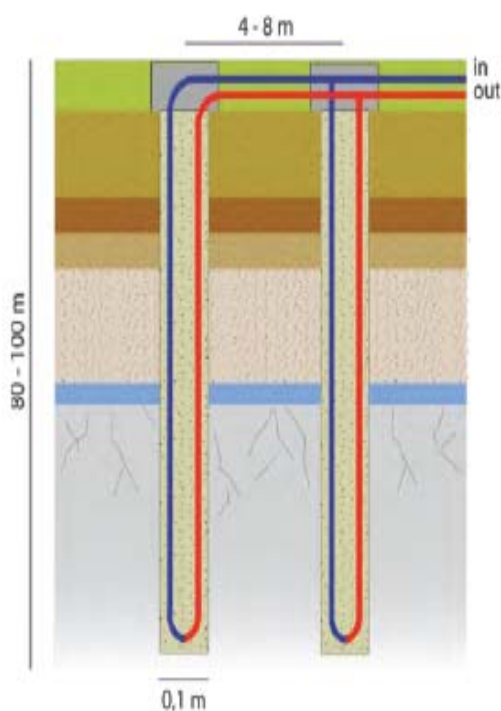


Come si osserva nelle figure, in ciascun pozzo, una volta collocati i tubi, viene introdotto un materiale di riempimento tra i tubi e le pareti del pozzo al fine di assicurare un buon contatto termico con il suolo circostante.

Nel caso la sonda attraversi una falda, il materiale di riempimento impedisce anche circolazioni verticali di acqua. Il materiale di riempimento oltre alla conducibilità

termica deve garantire anche una scarsa solubilità, per evitare interazioni con le acque di falda e nel contempo una buona elasticità per resistere alle sollecitazioni del terreno:

il materiale più diffuso è una boiaccia cemento-bentonitica, che riesce ad assolvere a tutte queste funzioni. Per quanto concerne invece il fluido termovettore, esso è costituito da acqua con aggiunta di antigelo in una percentuale variabile tra il 10% ed il 30% l'aggiunta di liquido antigelo abbassa il punto di congelamento dell'acqua fino quasi a -15°C ed è particolarmente importante in regime di riscaldamento.



Dimensioni tipo del campo geotermico

Il soddisfacimento del fabbisogno termico si ottiene non con una perforazione molto profonda ma con più perforazioni con una profondità massima di 150m.

La progettazione del sistema di sonde richiede di considerare una serie di fattori che pregiudicano l'efficienza del sistema geotermico.

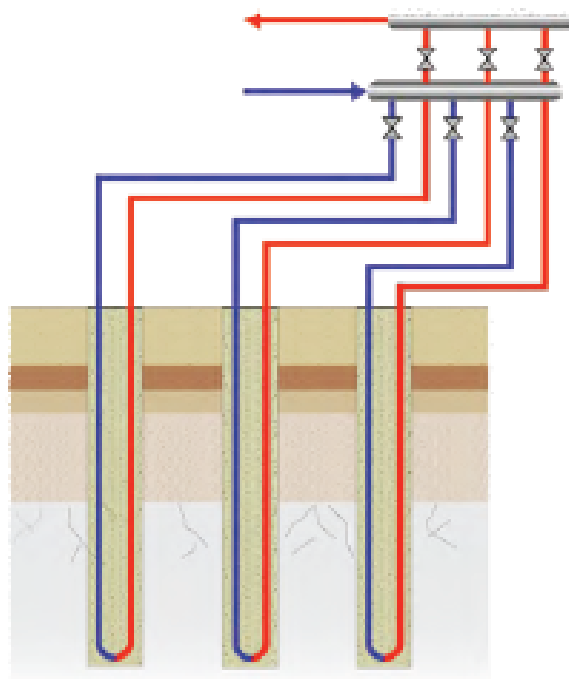
In base allo spazio a disposizione, è necessario studiare, nella fase più avanzata del progetto, anche per mezzo di opportuni sondaggi, la geometria del sistema di sonde in modo da conferire loro una distanza reciproca sufficiente ad impedire l'interferenza termica tra una sonda e l'altra: il range è variabile tra 4÷8 m in base anche alla conducibilità del terreno.

Anche nel rispetto delle distanze reciproche è stato previsto di non eccedere con il numero di sonde, su piccole superfici, al fine di evitare variazioni termiche significative del terreno.

Il campo geotermico è stato progettato in questa fase anche per ottimizzare i consumi di energia elettrica necessaria al pompaggio dell'acqua all'interno dei pozzi.

Una volta realizzato il campo geotermico e collocate tutte le sonde, il completamento dell'impianto prevede il collegamento idraulico finale.

Perché il circuito risulti bilanciato in ogni geoscambiatore, si è preferito un sistema di collegamento e distribuzione con collettori e valvole di regolazione oppure con sistema di collegamento con circuito compensato in modo che i circuiti risultino autobilanciati.



## 10. CALCOLO E DIMENSIONAMENTO DEL GEOSCAMBIATORE

---

Per il procedimento di calcolo e dimensionamento del geoscambiatore si è proceduto seguendo le differenti esperienze sviluppate in Europa, e con l'ausilio della bozza di norma UNI-CTI GL608-SG1, attraverso complesse procedure di calcolo che si riassumono:

- metodo della simulazione dinamica integrata dell'edificio, della pompa di calore e del terreno [*Asset rating* : per edifici esistenti].
- analisi energetica dell'edificio effettuata in accordo con la UNI TS 11300 e UNI EN 15603;

Nel ns. caso di valutazione con metodo *Asset Rating*, i calcoli sono stati svolti secondo i dati di progetto dell'impianto "As-built" e i dati di targa sia della pompa di calore geotermica che della pompa fluido termovettore lato terreno da installare.

La tipologia di circuito utilizzata è a circuito chiuso, senza miscela antigelo, considerando sia lo scambio termico a terreno che il funzionamento della macchina in funzione delle temperature di condensazione ed evaporazione.

Ai fini del procedimento di calcolo sono stati definiti i seguenti parametri :

- Temperatura del terreno **t = 18,6** [°C] ;
- Conduttività termica del terreno **λ = 1,78** [W/mK];
- Resistenza termica effettiva del terreno **Rb = 0,11** [mK/W]

Si è proceduto dunque a verificare i dati stimati nel progetto definitivo eseguendo il TRT (Thermal Respons Test), e successivamente introducendo i dati per la simulazione dinamica integrata dell'edificio.

Sono stati definiti i carichi termici e frigoriferi annuali, ipotizzando la contemporaneità d'utilizzo e le temperature medie del fluido termovettore per l'applicazione specifica (riscaldamento e condizionamento), valutando il COP e EER per le differenti applicazioni stagionali .

Impostando la configurazione della sonda verticale a doppia U Ø 32 in Pex-a, il dimensionamento del geoscambiatore a sonde verticale è stato basato sulle funzioni di trasferimento, attraverso algoritmi ricavati da studi parametrici utilizzando un modello di calcolo che consente di ricavare una soluzione analitica per il calcolo dello

scambio termico con differenti geometrie di scambiatori di calore. Le funzioni di trasferimento, dalla distanza mutua tra le sonde e dalla distribuzione degli scambiatori nel terreno (in linea, a L o a matrice). Con tale metodologia di calcolo dinamico sono state ricavati i parametri d'influenza negativa per temperatura, nell'arco dell'anno/mese/giorno con profilo di carico basato sulle 24 ore.

Il geoscambiatore a sonde verticali assolve alla funzione di bilanciamento energetico della centrale termofrigorifera andando a prelevare dal terreno, o in maniera speculare a riversare nel terreno la necessaria energia termica al fine di massimizzare l'efficienza del sistema impiantistico. Ovviamente il prelievo di energia termica dal terreno è accompagnato da una diminuzione della sua temperatura media, mentre la cessione di energia ne determina un aumento.

Al fine di massimizzare l'efficienza energetica media annuale della centrale termofrigorifera risulta fondamentale progettare il geoscambiatore in maniera tale da garantire una controllata, e ben determinata a priori, oscillazione massima annuale della temperatura dell'acqua (fluido termovettore) circolante nelle tubazioni chiuse in materiale Pex-a.

E' stata rivolta inoltre maggiore attenzione nel dimensionare una opportuna superficie di scambio a terra, tale da determinare una "controllata" fluttuazione annuale, sia della temperatura del fluido termovettore utilizzato, che conseguentemente anche del terreno, il quale da tale fluido riceve d'estate calore e ne cede d'inverno.

Il fenomeno di accumulo termico nel periodo di raffrescamento, dove il terreno è chiamato a ricevere il calore di condensazione delle unità a compressione di HFC, è utile a massimizzare l'efficienza delle stesse apparecchiature nel successivo ciclo invernale di riscaldamento, periodo nel quale verrà prelevato dal terreno il calore precedentemente riversato.

In maniera del tutto speculare il prelievo di calore dal terreno nel periodo invernale comporta una graduale e controllata diminuzione della sua temperatura, ma questo consente di instaurare in esso delle condizioni termiche ottimali per massimizzare l'efficienza energetica delle unità nel successivo periodo estivo di raffrescamento.

I fenomeni termici appena descritti, noti come "heat-storage" e "cool-storage", sono a loro volta contrastati dal naturale effetto rigenerativo che il terreno presenta nel tempo, effetto tanto più forte e preponderante quanto maggiore è il contenuto d'acqua del terreno e quanto maggiore è la velocità di deriva o scorrimento delle falde freatiche esistenti nel sito in oggetto.

Tale effetto rigenerativo assolve alla funzione, sempre positiva ai fini dell'ottimizzazione energetica della centrale, di uniformare la temperatura del terreno riportandola al suo originario valore indisturbato (es. 18°C iniziali misurati negli strati profondi di terreno prima dell'istallazione del geoscambiatore). Compito fondamentale del progettista, coadiuvato in questo da modelli di simulazione dinamica di scambio termico nel terreno, dalla conoscenza delle caratteristiche termiche dello stesso e dalla specifica esperienza impiantistica che necessariamente si richiede agli operatori di questo particolare settore tecnico, è di selezionare:

- una opportuna distanza in metri tra due successive geosonde;
- una opportuna profondità del geoscambiatore;
- un opportuno arrangiamento geometrico della matrice di tubi nel terreno; e tutto ciò al fine di ottenere il desiderato compromesso tra l'effetto di stoccaggio termico nel terreno e il suo naturale effetto di rigenerazione termica.

I valori di oscillazione massima annuale della temperatura del fluido termovettore, e conseguentemente del terreno circostante, accettati in fase di dimensionamento del sistema di geoscambio sono riportati nell'allegata relazione "GRT E SIMULAZIONE DINAMICA".

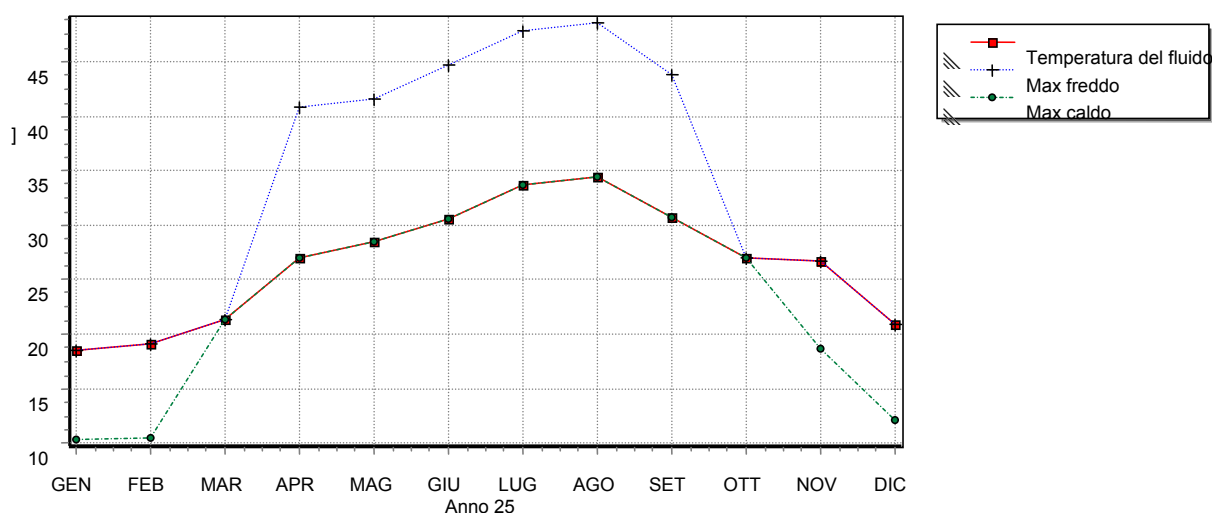
#### Risultati del dimensionamento :

Il dimensionamento è stato effettuato tenendo conto della permeabilità e della porosità del terreno riportati nella relazione geologica allegata, nonché sui risultati del TRT e della Simulazione Dinamica effettuata.

In particolare si riassumono i seguenti parametri :

- |                                    |            |
|------------------------------------|------------|
| - Potenza di picco invernale       | 167kW;     |
| - Potenza di picco estiva          | 145 kW;    |
| - Temperatura max. liquido vettore | 50°C;      |
| - Temperatura min. liquido vettore | 4°C;       |
| - Temperatura media del terreno    | 18,6 [°C]; |

- Conduttività termica del terreno  $\lambda=1,78$  [W/mK];
- Resistenza termica effettiva del terreno  $R_b= 0,11$  [mK/W]
- numero complessivo delle geosonde è di 15 (quindici), con distanza minima tra ciascuna geosonda di 4 m (centro-centro perforo);
- diametro complessivo perforazione =  $\varnothing 150\div 160$  mm;
- sonde doppia U  $\varnothing 32$  mm in Pex-a (PoliEtilene Reticolato ad Alta Densità), materiale plastico chimicamente inerte ad elevatissima resistenza termica e meccanica, campo di lavoro max  $-40\div +95^\circ\text{C}$ ;
- lunghezza minima geosonda = ml.130;
- lunghezza complessiva del geoscambiatore = 1950 ml.



Le sonde saranno inserite all'interno di fori realizzati mediante l'impiego di macchine trivellatrici equipaggiate con tecnologia "doppia testa". Questa tecnologia è minimamente invasiva e consente la massima salvaguardia del terreno e delle diverse falde acquifere.

La tubazione che costituisce la geosonda verticale a ciclo chiuso è realizzata in materiale Pex-a PN16 SDR11, e ciascun tubo ha un diametro esterno di 32 mm, la cui singola geosonda è costituita da n.4 tubi da 32 mm a saldare a coppia ad U in estremità, dove verrà collocata una massa di 15÷20 kg per conferire la corretta posa della condutture all'interno dei pozzi.

Ciascuna geosonda sarà connessa mediante tubazione in PP-R preisolati  $\varnothing 40$  fino al collettore di zona. Si prevede la realizzazione di n.2 collettori De160 in PP-R,

per il collegamento massimo di n.9 geosonde per ciascun collettore. Nelle tubazioni scorre semplice acqua movimentata da pompe idrauliche con regolazione "inverter".

Per il dimensionamento delle reti si rimanda all'elaborato "relazione di calcolo e dimensionamento".

## **11. PERFORAZIONE E PRESCRIZIONI TECNICHE**

---

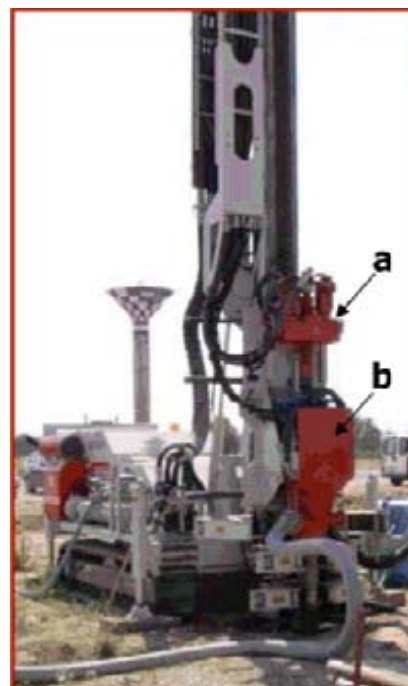
La realizzazione di ogni singola geosonda verticale si compone fondamentalmente di tre successive fasi operative che sono qui di seguito elencate:

1. Perforazione meccanica del terreno con diametro di perforazione e lunghezza di scavo come stabilita in progetto;
2. Inserimento della geosonda con tubazione Pex-a doppia U -  $\varnothing 32$ ;
3. Cementazione finale di tutto il perforo, partendo dal fondo foro fino al piano di campagna.

### FASE 1: Perforazione meccanica del terreno.

La perforazione del terreno avviene mediante l'impiego di una tecnologia di "ultima generazione" che vede l'utilizzo di macchine perforatrici di grande taglia equipaggiate con sistemi di perforazione a "doppia testa di rotazione" che utilizzano una innovativa tecnica di trivellazione a distruzione di nucleo con simultaneo avanzamento di un rivestimento metallico del perforo.

Con questa tecnica di trivellazione il terreno interessato dalla perforazione viene disgregato dalla testa rotativa centrale (a martello o a trilama conica) e i conseguenti detriti o frammenti vengono trasportati in superficie da una continua corrente di semplice aria compressa con la presenza di una minima quantità di acqua necessaria al raffreddamento dello scalpello centrale rotativo e della corona esterna anch'essa dotata di moto rotatorio ma di verso opposto a quello dello scalpello.

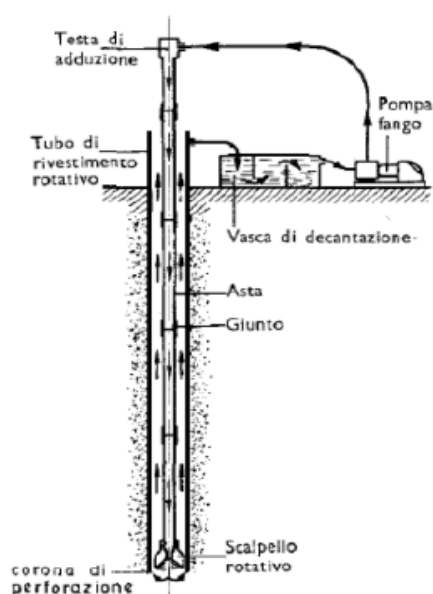


A fianco, tecnologia di perforazione a doppia testa appositamente sviluppata per installazione nel terreno di sonde geotermiche a bassa entalpia.

Il primo elemento di innovazione che caratterizza la tecnica qui esposta consiste nel fatto che questa prevede il rivestimento completo di tutto il perforo con una camicia metallica interna consentendo in questo modo di:

- garantire la continuità areale degli orizzonti interessati dalla trivellazione, assicurando il mantenimento delle separazioni idrogeologiche tra i diversi strati intercettati;
- evitare il contatto diretto tra gli strati di terreno perforati e il "fluido" di perforazione utilizzato, "fluido" che comunque si ricorda essere costituito da una "naturale" miscela di aria compressa (in massima parte) e di semplice acqua (in minima parte).

Quest'acqua è assolutamente priva di additivi ed è necessaria a raffreddare gli attrezzi taglienti quali lo scalpello rotativo centrale e la testa rotativa del rivestimento metallico esterno. Si evidenzia che i due sistemi di avanzamento sono controrotanti infatti lo scalpello centrale, a martello o a tricono rotante, avanza in senso orario mentre la corona dentata del rivestimento metallico esterno avanza ruotando in senso antiorario.



Questa soluzione tecnica incrementa l'affidabilità della trivellazione e ne semplifica l'esecuzione. Il contatto tra il "fluido di perforazione" (aria compressa + acqua) e il terreno trivellato è evitato in quanto la risalita della corrente di detriti, sminuzzati e sospesi in una corrente di aria compressa, avviene nello spazio anulare compreso tra le aste di perforazione centrali e la superficie interna del mantello cilindrico di acciaio in rotazione, mantello che costituisce la corona o rivestimento esterno della perforazione.

Per maggior chiarezza si ricorda che la corona esterna di perforazione è provvista di un moto rotatorio continuo ed è equipaggiata alla sua estremità con un elemento dentato che ne permette l'avanzamento nel terreno. All'interno dell'elemento dentato, con un diametro totale esterno leggermente inferiore, trova alloggiamento il trapano a cono dentati. Il quale è provvisto anch'esso di moto rotatorio in quanto collegato rigidamente alla batteria di aste rigide che consistono essenzialmente in elementi di tubo di notevole spessore, filettati maschio femmina alle estremità e cavi all'interno, che vengono aggiunti l'uno all'altro mano a mano che si procede in profondità.

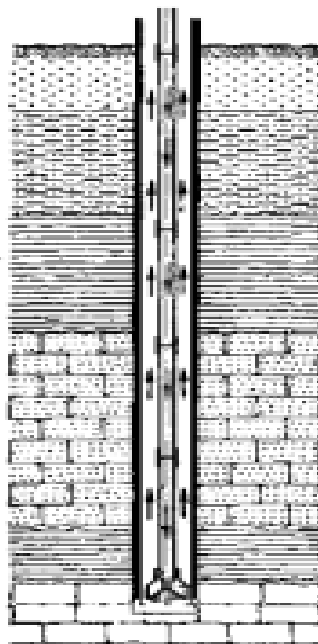
Altro elemento d'innovazione di questa tecnologia di trivellazione è rappresentata dalla corona esterna di perforazione costituita da una serie di strutture tubolari di acciaio, di determinata lunghezza e collegate insieme con sistemi filettati maschio-femmina, che costituiscono la "colonna metallica di perforazione".

Si evidenzia che il sistema di connessione metallica di due successivi tratti metallici di rivestimento (filettatura maschio-femmina) non altera la continuità geometrica e l'uniformità della superficie metallica esterna della colonna stessa. Tale uniformità della superficie esterna risulta importante ai fini di un corretto ed efficace isolamento degli strati di terreno perforati, isolamento che separa idrogeologicamente gli orizzonti areali attraversati impedendo qualsiasi fenomeno di bypass o cortocircuitazione tra differenti falde acquifere.

In conclusione la funzione di questa "colonna" esterna in acciaio, la quale avanza nel foro di concerto, contestualmente alle aste interne di perforazione, consiste nel:

- sostenere in maniera stabile le pareti del foro;
- isolare i vari strati di terreno attraversati, evitando una qualunque loro interconnessione idrogeologica.

In questo modo, la corona metallica esterna a diretto contatto con il terreno ricostruisce, come una vera e propria armatura di pozzo, l'isolamento tra gli orizzonti areali interessati (strati), isolamento che la perforazione rischia di interrompere, assolvendo ad una funzione che risulta indispensabile nel caso si attraversi un acquifero o un livello mineralizzato in pressione.



Proprio la presenza di questo sostentamento/isolamento metallico in acciaio delle pareti del perforo fornisce la possibilità di ricorrere come "mezzo fluido" di perforazione a sola aria compressa con l'aggiunta in minima parte di semplice acqua, senza la necessità di ricorrere a sostanze additivi quali la bentonite che in altre tecnologie di perforazione assolve alla funzione di impermeabilizzazione e sostentamento delle pareti del perforo.

## FASE 2: Inserimento della sonda e tubazione in materiale Pex-a

Terminata la perforazione, con il foro ancora completamente rivestito dall'armatura metallica esterna, si procede all'estrazione di tutte le aste interne di trivellazione, compreso ovviamente il trapano a coni dentati terminale.

Successivamente viene inserito lo scambiatore (due tubi di andata e due tubi di ritorno), in polietilene reticolato ad alta densità (Pex-a - PN 16 – SDR 11), del diametro esterno di Ø 32 mm.

Le tubazioni in materiale Pex-a all'interno della sonda verticale non presentano saldature intermedie ad eccezione della giunzione posta sul fondo in corrispondenza del raccordo ad U.



Durante la posa dello scambiatore verrà accoppiato un terzo tubo in polietilene per l'iniezione dal fondo del foro della malta cementizia posata con la tecnica delle sottofondazioni, vale a dire partendo dal fondo del perforo fino al piano di campagna, in modo da spiazzare verso la superficie tutto il contenuto del foro di perforazione appena eseguito. Allo scopo di ottimizzare l'inserimento del circuito di scambio ad U, con il fine di evitare fenomeni di spiralizzazione del tubo lungo il percorso, verrà installata sulla sommità della giunzione terminale ad U una barra pesante avente dimensioni che saranno funzione della particolare tipologia di terreno attraversato.

Questa barra svolgerà l'importante compito di trascinare spontaneamente la sonda verso il fondo del perforo senza alcuna necessità di spinte meccaniche dall'alto da parte dell'operatore addetto ai lavori, operatore che quindi avrà solo il compito di guidare, mantenendola costantemente parallela, la tubazione ad U durante la sua spontanea discesa nel perforo.

### FASE 3: Cementazione definitiva del perforo.

Ultimata la posa dello scambiatore, con il foro ancora rivestito per tutta la sua estensione dall'armatura metallica esterna, si procederà all'iniezione della malta cementizia a partire dal fondo foro.

La venuta a giorno del cemento sarà la garanzia dell'avvenuta cementazione di tutto il volume cilindrico interno del rivestimento metallico. Solo a questo punto, prima che il cemento inizi a solidificarsi, comincerà ad essere gradualmente estratta la corona metallica esterna (armatura di pozzo) permettendo al cemento, sotto l'azione della pressione idrostatica della colonna perforata ricolma di malta cementizia, di venire a diretto contatto con le pareti del foro (terreno) sempre a partire dal fondo di quest'ultimo.

In questo modo verrà mantenuta e garantita nel tempo la continuità areale degli eventuali orizzonti impermeabili intercettati, evitando quindi ogni potenziale interconnessione tra i diversi acquiferi lungo le pareti del perforo. Ovviamente durante la progressiva estrazione delle porzioni di corona metallica esterna verrà costantemente pompata miscela cementizia al fine di compensare la diminuzione di livello causata dall'occupazione da parte del cemento del volume prima occupato dall'acciaio.

Si sottolinea che il completamento del foro con la sigillatura finale mediante malta cementizia verrà realizzato con una miscela di bentonite (2-5%) e cemento (per la restante parte) per metro cubo di acqua. Il cemento normalmente usato è quello impiegato per l'edilizia che, come noto, durante la presa tende a ritirarsi con possibilità di distacco di alcune parti dalle pareti del perforo, distacchi che formerebbero delle zone di discontinuità termica.

L'aggiunta di bentonite alla malta permette:

- a) di ridurre drasticamente l'effetto del ritiro durante la presa in quanto questa rende la malta stessa più fluida e plastica;
- b) fa diminuire il tempo di presa del cemento;
- c) garantisce l'uniformità della cementazione a tutto vantaggio del coefficiente di conducibilità termica totale della geosonda.

E' opportuno precisare che l'impiego di questa tecnologia di trivellazione (corona metallica esterna con steli interni controrotanti), che si avvale di apparecchiature del tipo di quella mostrata in precedenza, riesce a garantire la quasi perfetta verticalità di ogni singola trivellazione. Infatti l'estrema rigidità a flessione della corona esterna di acciaio, unita ai sistemi di controllo a bolla della verticalità dell'asta di perforazione con cui il macchinario è equipaggiato, consentono di ottenere a profondità di 150÷200

m dal p.c. limitate deviazioni della perforazione dalla direzione di perfetta verticalità alla superficie esterna del terreno.

Comunque che anche nel caso si verificassero disallineamenti profondi della singola trivellazione dalla direzione di perfetta verticalità, questo non comporterebbe problemi o squilibri termici al geoscambiatore visto nella sua globalità, poiché la diminuzione della distanza tra due successive geosonde è compensata termicamente dall'aumento conseguente della distanza tra la sonda considerata deviata e quella diametralmente opposta alla direzione di deviazione.


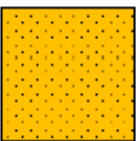







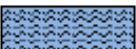
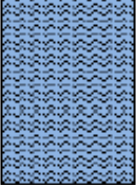
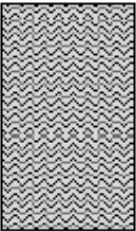
#### FASE 4) Procedura di test di tenuta della sonda-tubazione

- A) Ciascuna sonda di geoscambio PN16 deve essere sottoposta ad una pressione di almeno 690 kPa per un tempo minimo di 1 (una) ora prima di essere inserita nel foro. La stessa procedura deve essere ripetuta anche dopo l'inserimento della sonda nel foro. Successivamente il foro, ad esito positivo della prova di tenuta, verrà opportunamente riempito di cemento.
- B) Ogni serie di sonde (es. 9 sonde) vengono collegate in parallelo, con sistema
- C) idraulico a ritorno inverso, utilizzando tubi PN16 e mediante termosaldature.
- D) Tutto il sistema, costituito dal collettore e dalle sonde geotermiche, verrà
- E) nuovamente testato con una pressione di almeno 690 kPa per un tempo minimo di 2 (due) ore, tempo calcolato a partire dalla stabilizzazione del livello di pressione all'interno del circuito in prova.
- F) Ciascuna serie di sonde è collegata ad un collettore dal quale si diparte una tubazione PN16 alla centrale termo-frigorifera. Prima di essere collegata al collettore quest'ultima deve essere testata seguendo la procedura riportata al punto B).
- G) Una volta operato fisicamente il collegamento al collettore di centrale del geoscambiatore, la procedura di test prevede di effettuare una nuova ed ulteriore prova in pressione sempre caratterizzata da un valore di pressione almeno pari a 690 kPa da mantenere per un tempo minimo di 12 ore dopo la stabilizzazione del livello di pressione. Nota. Le procedure B) e C) devono essere svolte prima della copertura (interramento) delle tubazioni, copertura che potrà essere eseguita solamente ad esito positivo delle medesime.

Durante la perforazione dovrà essere evitata qualsiasi conseguenza negativa per il suolo e sottosuolo. Dovranno essere implementate misure di sicurezza relative al rischio di perdite di olio della macchina perforatrice nonché perdite di prodotti specifici per la perforazione (es. carburanti, lubrificanti, olii idraulici, additivi). Occorrerà inoltre considerare che:

- il terreno sotto la perforatrice dovrà essere protetto mediante teli impermeabili e vasche di raccolta;
- in cantiere dovranno sempre essere a disposizione idonei prodotti olio assorbenti;
- l'utilizzo di fluidi di perforazione non dovrà indurre alcune conseguenze negative per il sottosuolo e per l'acqua di falda;
- additivi dovranno essere evitati; qualora venissero impiegati, dovranno essere completamente biodegradabili;
- acque e fanghi di perforazione dovranno essere smaltiti secondo la normativa vigente nel caso vengono utilizzati additivi;
- infiltrazioni di acque superficiali andranno impediti tramite una idonea strutturazione della zona attorno al foro di perforazione;
- la posizione della perforazione dovrà essere garantita per quanto riguarda eventuali sottoservizi interrati.

**STRATIGRAFIA, MODELLO GEOTERMICO E DIMENSIONAMENTO IMPIANTO****EX CHIESA DEI SANTI ELENA E COSTANTINO**

Profondità (m)	Spessore (m)	Stratigrafia	Descrizione	Conducibilità termica $\lambda$ (W/m*k)	Potenza estraibile per metro di perforazione (resa) (W/m)
3.6	3.6		Terreno di riporto con prevalenza di matrice pelitica	1.4	20
11.2	7.6		Terreno di riporto con prevalenza di classi granulometriche sopra i 2 cm di diametro	20	50
15.4	4.2		Calcareniti e sabbie calcaree	20	50
17	1.6		Sabbie con intercalati rari livelli cementati	20	50
19.5	2.5		Alternanze di calcareniti pseudonodulari e sabbie fini calcaree	20	50
20.1	0.6		Sabbie fini e silt di colore verdastro o marrone	20	50
22.1	2.0		Sabbie fini e silt con rari frammenti calcarenitici	20	50
23.1	1.0		Sabbie fini e silt di colore verdastro o marrone	20	50
24.9	1.8		Sabbie fini e silt di colore verdastro o marrone	20	50
25.1	0.2		Sabbie calcaree	20	50
50	50		Argille Azzurre prevalentemente con livelli di calcareniti grigie	0.5	30
100	50		Argille scagliettate del Flysch Numidico	0.6	30

## **12. ZONE INTERESSATE DAL PROGETTO**

---

In seguito ai rilievi eseguiti, all'acquisizione delle planimetrie architettoniche ed agli elaborati grafici relativi agli impianti termici esistenti, si è proceduto a dimensionare l'impianto geotermico per l'insediamento di progetto e dei relativi impianti e servizi al fine di sostituire alcune delle pompe di calore esistenti.

La complessa peculiarità delle condizioni storico-ambientali al contorno dell'edificio influiscono notevolmente sulla scelta dei percorsi delle reti di distribuzione per il raggiungimento degli impianti esistenti.

Le scelte eseguite sono caratterizzate da non poche difficoltà operative e realizzative dell'intervento in oggetto, tutto ciò non preclude una più attenta analisi dei percorsi individuati da condividere nella fase esecutiva del progetto congiuntamente ai tecnici competenti della Soprintendenza BB.CC.AA.

Le pompe di calore esistenti, che s'intendono sostituire del tipo Aria-Acqua, sono utilizzate per fornire energia termica per le seguenti zone :

- **Sala mostre: nuovo** impianto con terminali a ventilconvettori;
- **Ex Chiesa:** impianti con terminali a ventilconvettori;
- **Locali attigui Ex Chiesa :** Impianti a pavimento radiante.
- **Uffici:** impianti a tutt'aria con Unità di Trattamento Aria;

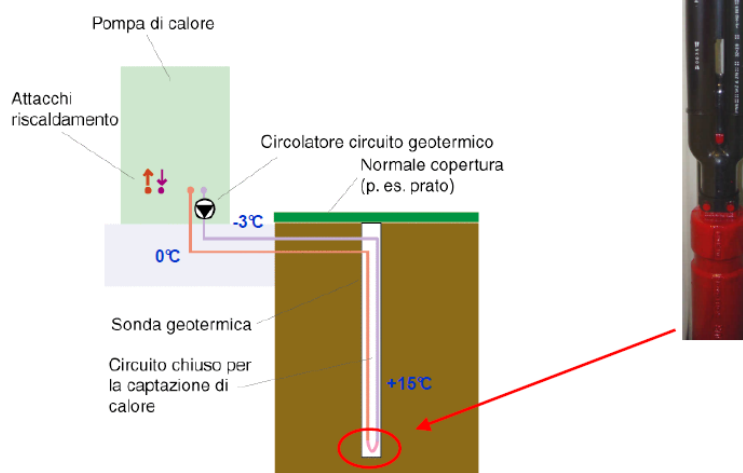
Ciascuna zona oggetto dell'intervento è dotata di proprio impianto indipendente, che sarà connesso all'impianto centralizzato di circolazione per la condensazione con l'impianto geotermico. I singoli ambienti, suddivisi in zone e per piani, le cui unità interne faranno capo, alla nuova unità esterna.

Saranno realizzati nuovi punti di connessione in by-pass sui collettori esistenti ubicati nel cortile a piano terra e nel terrazzo del secondo piano, dove sono alloggiate le attuali macchine di climatizzazione.

L'assoluta silenziosità della nuova centrale a pompa di calore, condensata ad acqua, risulta conforme alle vigenti legislazioni in materia acustica ed oltremodo adeguata al sito in oggetto. La centrale di pompaggio dell'acqua di circolazione dell'impianto geotermico sarà integrata con moduli idronici all'interno della medesima pompa di calore tale da ridurre al minimo l'impatto ambientale.

L'impianto di aspirazione è costituito da una rete di tubazione in PP-R-PN10-16 del tipo preisolata, che si estende attraverso il cortile interno ed esterno per afferire fino alle sonde geotermiche a sviluppo verticale.

### Le sorgenti di calore – sonda geotermica



Dalla centrale si diramano due rami di tubazioni, anch'esse in PP-R-PN10-16 del tipo preisolata, installate all'interno del cortile di piano terra per raggiungere le sottocentrali delle singole zone.

Di seguito si riportano i dati e le potenze termiche degli impianti esistenti e nuovi:

SISTEMA	ZONA	N°UNITA' ESTERNA	POT FRIGO [kWf]	POT FRIGO tot [kWf]	FATT - CONT
1	informazioni	1	9	9	100%
2	uffici	1	32	32	100%
3 (*)	Sala Conferenze 1p	1	77	77	95%
4	sala mostre pt	1	25	25	100%
5	UTA Uffici	1	10	10	100%

(\*) Nuovo impianto a ventilconvettori

Pertanto la potenza termica installata risulta :

- ❖ Potenza Termica per raffrescamento estivo : 153 kWf
- ❖ Potenza Termica per riscaldamento invernale : 170 kWt

❖ Potenza Elettrica max assorbità media (est-inv) :	73 kW <sub>e</sub>
❖ COP medio	2 ÷ 2,2
❖ Pressione sonora a 5 m [dbA]	60

Assunto che i due sistemi utilizzano i seguenti terminali di distribuzione :

1. N. 5 Ventilconvettori a pavimento;
2. N. 10 Ventilconvettori a pavimento;
3. N. 4 Ventilconvettori a pavimento;
4. N.12 Convettori a pavimento
5. N. 1 Unità di trattamento aria;

#### Caratteristiche della nuova pompa di calore geotermica:

Pertanto la potenza termica installata risulta :

❖ Potenza Termica per raffrescamento estivo :	145 kW <sub>f</sub>
❖ Potenza Termica per riscaldamento invernale :	167 kW <sub>t</sub>
❖ Potenza Elettrica max assorbità (est-inv) :	28÷38,8kW <sub>e</sub>
❖ COP medio	4.3
❖ ESEER medio	5.6
❖ Pressione sonora a 5 m [dbA]	46
❖ Refrigerante :	R410A
❖ Compressori scroll:	2
❖ Circuiti frigoriferi:	1

### **13. IMPIANTO A VENTILCONVETTORI SALA CONFERENZE 1° PIANO**

Nell'ambito del progetto di efficientamento energetico degli edifici e utenze energetiche pubbliche o ad uso pubblico" presso l'edificio dell'Ex Chiesa dei SS. Elena e Costantino sede dell'Archivio Storico dell'Assemblea Regionale Siciliana, si è prevista la realizzazione un impianto di raffrescamento a ventilconvettori a servizio della sala storica del primo piano utilizzata per conferenze e mostre.

La realizzazione dell'impianto a ventilconvettori è stato studiato e formulato sulla base delle esigenze della destinazione d'utilizzo fornite dal committente, definendo con particolare cura e destinazione dell'opera, le esigenze dettate dai singoli ambienti, la distribuzione esecutiva dei terminali ed i tracciati delle reti dei fluidi primari.

Nella fattispecie si tenuto conto per la scelta e l'alloggiamento degli impianti in oggetto, di alcuni parametri e dati di progetto:

- Degli spazi a disposizione, che hanno imposto l'installazione dei soli ventilconvettori trascurando i ricambi aria per le persone presenti.
- L'ubicazione dei ventilconvettori dietro le panche di seduta esistenti longitudinali alle pareti;
- La distribuzione delle reti utilizzando percorsi obbligati atti a non incidere sui pavimenti di pregio storico;
- Imporre il parametro di calcolo e verifica dei carichi termici sulla base della potenza termofrigorifera disponibile dall'impianto geotermico e del numero massimo di ventilconvettori installabili all'interno della sala;

#### **Criteri di calcolo**

Tutte le grandezze atte a valutare il comportamento termico di un ambiente condizionato sono state calcolate in regime transitorio, comunque variabile nel tempo.



Il calcolo del fabbisogno frigorifero, data la complessità di elaborazione è stato ottenuto per mezzo di un software programmato basato sulle funzioni di trasferimento così come trattato in ASHRAE (Fundamentals 85-96 Cap.26).

Dati:

Condizioni termoigrometriche:

	ESTATE		INVERNO	
	INTERNO	ESTERNO	INTERNO	ESTERNO
TEMPERATURA °C	26÷27	35	20÷21	5
UMIDITA' RELATIVA %	50÷55	60	50÷60	80

Dalle verifiche e i calcoli effettuati è risultato che la massima potenza termica in regime estivo (più gravoso) è pari a:

- sala conferenze      Pf  67500 W
- disimpegno            Pf  5500 W

Pertanto analizzato quanto sopra premesso si prevede quindi di installare :

sala conferenze

n.16 ventilconvettori modello pavimento incasso ribassato

Pot. Frigo                4400 W

Pot. Termica            5400 W

Dimensioni   mm.   1004x250x413h

Potenza frigo tot.     70,4 kW

Potenza termica tot. 86,4kW

Disimpegno sala conferenze

n.216 ventilconvettori modello pavimento incasso ribassato

Pot. Frigo                4400 W

Pot. Termica            5400 W

Dimensioni   mm.   1004x250x413h

Potenza frigo tot.     8,8 kW

Potenza termica tot. 10,8kW

Le suddette potenze da installare, saranno in grado di garantire il raffrescamento e la deumidificazione limitata della sala con un affollamento presunto di circa 100 persone

presenti alle condizioni termo igrometriche di progetto, assunto che non si prevede la realizzazione di un impianto per l'immissione forzata dell'aria di rinnovo.

Acquisiti i calcoli termici per il dimensionamento dei terminali, è stato redatto il progetto esecutivo dell'Impianto di raffrescamento con ricircolo estivo/invernale. Così come indicato in precedenza, il sistema è del tipo a ventilconvettori, con distribuzione delle reti a pettine, sotto pavimento, da installare nell'intercapedine tecnica perimetrale dietro le sedute, e distribuzione principale, derivata dal montante della pompa di calore geotermica. La tubazione di distribuzione principale e quella diramata sarà realizzata con tubazioni in PP-R SDR11, preisolate anticondensa, e posto in opera mediante saldatura con polifusore o sistemi equivalenti.

Modifica dei circuiti delle centrali termofrigoro esistenti, costituite da pompe di calore aria-acqua per realizzazione di circuito in parallelo. Dai grafici esaminati si ritiene l'impianto sia suddiviso in due zone, al cortile del piano terra e al terrazzo di secondo piano. Si prevede quindi di mettere in parallelo le tre PdC esistenti installando la nuova pompa di calore geotermica con relativo gruppo pompe di circolazione, come riportato negli elaborati grafici, per alimentare anche il nuovo circuito ventilconvettori (fancoils) e realizzazione delle necessarie modifiche per l'esecuzione dei by-pass per le PdC e UTA esistenti. Regolazione e taratura dei circuiti idraulici.

Altrettante tubazioni per lo scarico della condensa saranno realizzate in pvc o mat. equivalente fino al chiusino sifonato di scarico più vicino nel cortile a piano terra. Nel rispetto del dimensionamento eseguito, tutte le grandezze dei ventilconvettori, risponderanno al comportamento termico di ciascun ambiente condizionato.

### Caratteristiche Ventilconvettori

Ventilconvettore verticale, modello da incasso ribassato, con certificazione EUROVENT, ISO9001 e marchio CE, potenza frigo riferita alla massima velocità, con acqua di alimento a 7 °C, DT acqua 5°, temp. ambiente 27°C. Testata in legno con alette orientabili e design a spigoli arrotondati. Il ventilconvettore sarà completo di: - batteria di scambio termico in rame e alettatura a pacco in alluminio (min. tre ranghi); - bacinella principale e secondaria di raccolta condensa; - pompa di rilancio condensa in linea - ventilatore centrifugo con coclea in acciaio zincato e girante in plastica, equilibrata staticamente e dinamicamente, con motore elettrico monofase a condensatore permanentemente inserito, ad almeno tre velocità; Pannello comandi

elettronico composto da: - commutatore a quattro posizioni (zero più tre velocità), completo di termostato ambiente con cursore di modifica del valore prescritto; - commutatore stagionale E/I; - filtri smontabili in materiale rigenerabile; - struttura di contenimento in lamiera di acciaio verniciato a fuoco, e rivestito internamente con materiale termoisolante e fonoassorbente; - n° 2 valvole di intercettazione e taratura (n.1 a sfera a passaggio totale+n.1 detentore a regol. micrometrica)  $\varnothing$  3/4"; Sono comprese, inoltre, l'onere di allaccio alla rete condensa, l'aliquota dell'intero impianto elettrico di alimentazione del quadretto comandi a distanza comunque realizzato, con cavo N07V-K posto entro tubazione rigida tipo ECO, cassette di derivazione ed ogni altro onere e magistero.

#### DATI TECNICI

Potenza alla max velocità

Pot. Frigo                    4400 W

Pot. Termica                5400 W

Dimensioni mm.    1004x250x413h

Q                                768 l/h

Dy                              13 kPa

Le rese termiche prodotte dai ventilconvettori, dovranno essere certificate da idoneo Ente Certificatore autorizzato dal Ministero dell'industria, o equivalente sistema di certificazione riconosciuto dalla Comunità Europea.

#### Criteri dimensionali delle reti idrauliche

Come illustrato in precedenza il sistema prevede un circuito principale a partire dalla pompa di calore geotermica fino ai piani, e da questi le diramazioni con tubazioni in polipropilene tipo PP-R per il collegamento ai ventilconvettori con percorsi esterni sul prospetto del cortile e percorsi interni a pavimento sottotraccia. Tutti i circuiti dovranno essere rivestiti con isolamento termico di opportuno spessore, secondo quanto previsto dal DPR 412/93 e ss.mm.ii. La sezione delle tubazioni è stata dimensionata per una perdita di carico di circa  $250 \div 350 \text{ Pa/m}$ , ad una velocità non superiore a 1,6 m/s. Un'elettropompa regolata dal sistema adattativo function-plus preassemblata nel modulo idronico della pompa di calore geotermica, a basso numero di giri, provvederà all'alimentazione del fluido ai ventilconvettori.

Tubazioni circuiti geotermico : PN16 –SDR11

### Calcolo Portata - Sezione - Velocità

$$Q = 0,785 \cdot D^2 \cdot V$$

**Dati di Calcolo**

<b>D</b>	90	mm
<b>Q</b>	8,33	l/s
<b>V</b>	1,32	m/s

**D** = Diametro interno della condotta  
**Q** = Portata della condotta  
**V** = Velocità del flusso

**Dati di Calcolo**

<b>D</b>	73,6	mm
<b>Q</b>	5	l/s
<b>V</b>	1,19	m/s

**Dati di Calcolo**

<b>D</b>	61,4	mm
<b>Q</b>	3,3	l/s
<b>V</b>	1,12	m/s

Tubazioni circuiti sonde: De32 – Di 26 – PN16 - SDR11

### Formula di Hazen-Williams

**Dati di Calcolo**

<b>D</b>	26	mm
<b>Q</b>	0,35	l/s
<b>V</b>	0,66	m/s

Tubazioni circuiti H<sub>2</sub>O fredda impianto: PN16 - SDR11

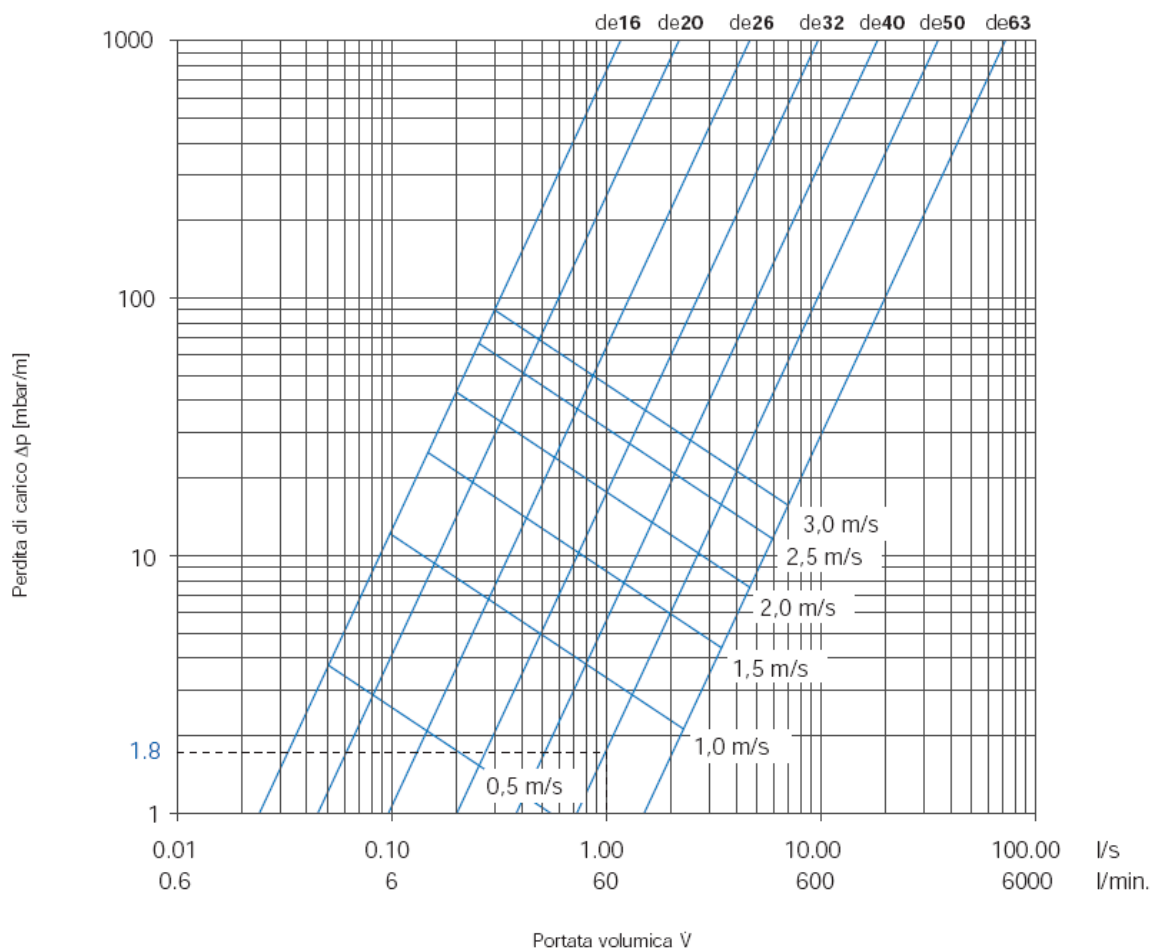
## Dati di Calcolo

$\varnothing$  51.4 mm  
 $Q$  3.84 l/s  
 $v$  1.96 m/s

## Dati di Calcolo

$\varnothing$  51.4 mm  
 $Q$  2.81 l/s  
 $v$  1.36 m/s

Al fine di determinare le perdite di carico si è utilizzato il diagramma :



## 14. CONFRONTO ENERGETICO TRA DUE SISTEMI

### Risparmio di potenza unitaria in termini di energia per KWh

<b>45,0</b> kwhe in meno estate	161%
<b>35,0</b> kwhe in meno inverno	92%

Fabbisogno Frigorifero medio annuo 234'900,00 kWhf

Fabbisogno Termico medio annuo 144'288,00 kWhf

### Orari giornalieri di accensione impianto di climatizzazione

ESTATE		INVERNO	
dalle 8 alle 18	totale ore	dalle 8 alle 16	totale ore
10 ore	1620	8 ore	864
6 mesi (apr-mag-giu-lug-ago-set)		4 mesi (dic-gen-feb-mar)	
180 giorni		120 giorni	
0,9		0,9 fattore di occupazione	

### Energia elettrica risparmiata annua

<b>72'900,00</b> kwh	kwh	<b>30'240,00</b>
----------------------	-----	------------------

<b>totale risparmio annuo</b>	<b>103'140,00 kwh</b>
	<b>103,1 MWh</b>
	<b>19,29 tep</b>
	<b>371,30 Gj</b>
	<b>24 tCO<sub>2</sub></b>
	<b>16'502,40 Euro</b>

Palermo, lì febbraio. 2012

il tecnico  
Ing. Enrico Petralia



**REGIONE SICILIA**

**ASSEMBLEA REGIONALE SICILIANA**

**CANTIERE  
EX CHIESA DEI SANTI ELENA E COSTANTINO**

**Realizzazione di un impianto geotermico a bassa entalpia  
P.O.I. “Energie rinnovabili e risparmio energetico”  
FESR 207-2013**

**SIMULAZIONE DINAMICA  
CON SONDE GEOTERMICHE VERTICALI  
DOUBLE U – De 32**

COMMITTENTE

ASSEMBLEA REGIONALE SICILIANA

PALERMO

Verona 18 gennaio 2012

Geotermica Saval Srl  
Dr. Savino Basta



## INDICE

PREMESSA	Pag. 3
1. GROUND RESPONSE TEST - GENERALITA' E RIFERIMENTI NORMATIVI	Pag.3
2. APPARECCHIATURA DI MISURA	Pag. 4
3. ESECUZIONE DEL GRT SU SONDA DOUBLE U 32	Pag. 5
4. POTENZA TERMICA IMMESSA E PORTATA	Pag. 5
5. PERDITE DI CARICO E PORTATA OTTIMALE NELLE SONDE	Pag. 6
6. VALORI RILEVATI CON IL GRT	Pag. 7
7. DETERMINAZIONE CONDUTTIVITÀ TERMICA	Pag. 8
8. CALCOLO DEL VALORE DELLA RESISTENZA TERMICA EFFETTIVA	Pag. 10
9. FABBISOGNI TERMICI E FRIGORIFERI DELL'EDIFICIO	Pag. 13
10. DATI DELLA SIMULAZIONE DINAMICA	Pag. 15
11. RISULTATI DELLA SIMULAZIONE DINAMICA	Pag. 17
12. CONCLUSIONI	Pag. 21



## PREMESSA

Il ground response test, sotto descritto, è quello eseguito nel cantiere Palazzo dei Normanni, nel quale è prevista l'installazione di una centrale geotermica per l'alimentazione dell'impianto di condizionamento esistente.

Considerato che il Palazzo dei Normanni dista dall'ex Chiesa in epigrafe circa 100 m in linea d'aria, sentito il Progettista dell'impianto ing. Pennacchio, sentiti i Tecnici dell'Ufficio Tecnico della Regione ed in particolare il dott. Geologo Ignazio Giuffrè ed il Responsabile Unico del Procedimento ing. Giulio Cavasio, si è convenuto che non vi siano motivi ragionevoli per ritenere che la stratigrafia del sottosuolo dei due siti possano differire in maniera significativa. Per questa ragione nella simulazione dinamica del comportamento del campo sonde da installare nel sito dell'ex Chiesa è stato utilizzato il medesimo valore di conduttività termica del sottosuolo risultato dal GRT eseguito nel cantiere di Palazzo dei Normanni ed il medesimo valore della resistenza termica equivalente della pozzo.

Per completezza del presente elaborato si è ritenuto riportare integralmente la relazione relativa alla determinazione della conduttività termica del suolo e della resistenza termica del pozzo relative al cantiere Palazzo dei Normanni.

## 1. GROUND RESPONSE TEST - GENERALITA' E RIFERIMENTI NORMATIVI

Per il dimensionamento delle sonde geotermiche la conoscenza delle caratteristiche termiche del sottosuolo è di primaria importanza. Per i piccoli impianti (potenza termica di picco inferiore ai 10/20 kW) questi parametri vengono generalmente stimati dalla stratigrafia presunta. Per gli impianti di potenzialità termica maggiore invece queste proprietà vanno misurate in loco.

Nel caso in esame è previsto che il campo sonde provveda a fornire l'energia necessaria al riscaldamento invernale degli ambienti ed al raffrescamento estivo.

Quando si va a sollecitare il terreno con importanti prelievi ed immissioni di energia durante l'anno è senza dubbio necessario valutare attraverso opportune procedure di dimensionamento l'andamento delle temperature dello scambiatore geotermico allo scopo di assicurare che le temperature minime e massime di ingresso e uscita dalla pompa di calore e dall'impianto rimangano coerenti con i valori di progetto.

La lunghezza delle sonde infatti è determinata a partire proprio dai valori di temperatura minima e massima desiderati in ingresso alla pompa di calore (o allo scambiatore dell'impianto se si realizza raffrescamento passivo o free-cooling).



Il Ground Response Test [GRT] o Thermal Response Test [TRT] è lo strumento che permette di rilevare le proprietà termofisiche di scambio del sottosuolo, e, di conseguenza, di procedere al corretto dimensionamento del campo geotermico evitando sovradimensionamenti che incrementerebbero inutilmente il costo finale dell'opera, o peggio ancora sottodimensionamenti che andrebbero ad inficiare inequivocabilmente la funzionalità dell'installazione.

Definiti i fondamenti teorici negli anni 80, il primo *ground response test* è stato effettuato in Svezia dal Eklöf e Gehlin nel 1995 con l'apparecchiatura sviluppata presso i laboratori dell'Università di Lund, successivamente un apparato simile fu costruito e provato negli USA da Austin (Oklahoma State University) nel 1998. Nel 1999 viene sperimentato nei Paesi Bassi da Van Gelder un apparato che si differenziava da quelli di Gehlin e Austin in quanto prevedeva l'estrazione di calore dal sottosuolo mediante una pompa di calore. A partire dal 2001, a seguito delle esperienze effettuate nell'ambito dei progetti Annex 12 e Annex 13 dell'IEA, il *ground response test* diventa *routine* nella progettazione di campi sonde di un certo rilievo.

Norme e/o Direttive per l'installazione di sonde geotermiche e per l'esecuzione del GRT (Ground Response Test) o TRT (Thermal Response Test) sono state di recentemente pubblicate in nazioni ove questo tipo d'impianti ha trovato notevole successo (Svezia, Benelux, Germania, Svizzera USA). In Italia, alcune Regioni hanno legiferato su questo argomento. E' comunque in fase di pubblicazione ormai la Bozza di Norma UNI-CTI GL 608 "Impianti Geotermici a pompa di calore" SG1 del 24/09/2010.

Tanto il GRT che la simulazione dinamica sono state condotte, per quanto possibile, in conformità alle raccomandazioni della Bozza di Norma UNI-CTI sopra menzionata.

## 2. APPARECCHIATURA DI MISURA

L'apparecchiatura utilizzata è stata progettata e realizzata dall'ing. Alberto Basta. Le principali caratteristiche dello strumento sono:

- misura delle portate con sensore elettronico di precisione  $\pm 1,5\%$ .
- misura delle temperature del circuito idraulico con sonde di temperatura (termistori), precisione  $\pm 0,01^\circ\text{C}$ ;
- registrazione su supporto informatico, con scansione di 60 sec.
- scala di potenze erogabili: da 2,0 kW a 9,0 kW con step di 1000 W;
- portata da 0 a 2.000 l/h;
- prese di pressione per la misura delle perdite di carico della sonda geotermica.



### 3. ESECUZIONE DEL GRT SU SONDA DOUBLE U $\phi$ 32

La prova consiste nel sollecitare il terreno con un impulso termico di valore il più possibile costante per un periodo tale da assicurare che il sistema sonda - terreno circostante raggiunga una situazione di equilibrio e dalle misure si possano rilevare indistintamente l'effetto della resistenza termica della sonda e del terreno. I dati così ottenuti vengono elaborati mediante l'utilizzo della "line source theory".

La prova è stata effettuata con l'apparecchiatura su descritta ed è iniziata in data **12/12/2011** alle ore **9:00**. La durata della prova è stata di complessive **80:24 h**, suddivise come segue:

<b>0:54 h</b>	dalle <b>9:00 del 12/12/2011</b> - alle <b>9:54 del 12/12/2011</b>	Preavvio
<b>79:30 h</b>	dalle <b>9:54 del 12/12/2011</b> - alle <b>17:24 del 15/12/2011</b>	Sollecitazione termica

Il primo periodo è stato dedicato alla valutazione delle caratteristiche del terreno indisturbato. Nel secondo periodo si è provveduto ad attivare la sollecitazione termica.

La temperatura del terreno indisturbato rilevata attraverso la circolazione di acqua senza attivazione del riscaldamento è risultata pari a **18,6 °C**, valore medio rappresentativo sull'intera profondità della sonda.

Per tutta la durata della prova sono state misurate le seguenti grandezze:

- data e ora di ogni singola registrazione;
- portata volumetrica;
- temperatura di mandata;
- temperatura di ritorno;
- temperatura aria ambiente;
- tensione elettrica per ciascuna fase;
- corrente elettrica per ciascuna fase;
- frequenza elettrica;
- angolo di sfasamento V-I,  $\phi$ , per ciascuna fase;
- potenza elettrica, totale e per ciascuna fase, ceduta al sistema sonda-bentonite-suolo.

La frequenza di campionamento è stata pari a 60 s

### 4. POTENZA TERMICA IMMESSA E PORTATA

La potenza termica immessa nel suolo a regime (ultime 10 ore), calcolata in base alla portata ed alla differenza di temperatura fra quella di mandata in sonda e quella di ritorno, è stata pari a **6595 W** e quindi, considerato che la sonda ha una profondità di **92 m**, una potenza specifica pari a

$$6595/92 = 71,68 \text{ W/m}$$

La portata a regime è stata pari a **1191 litri/h.**

La differenza di temperatura a regime è stata di **4,78 °C**

## 5. PERDITE DI CARICO E PORTATA OTTIMALE NELLE SONDE

Sono state effettuate **n. 8** misure delle perdite di carico della sonda geotermica che vengono riportate nella seguente tabella dove:

- $\Delta H_m$  = caduta di pressione misurata
- $\Delta H_r$  = caduta di pressione nei raccordi che collegano l'apparecchio di misura alla sonda
- $\Delta H_s$  = caduta di pressione nella sonda
- $j$  = caduta di pressione riferita ad 1,0 m di sonda
- Per la lunghezza della sonda si è utilizzato il valore di **186 m**, di cui **184 m** lunghezza geometrica effettiva e **2,0 m** lunghezza equivalente del raccordo ad U del piede di sonda.

La temperatura dell'acqua, durante i rilievi delle perdite di carico, è stata di **18,6 °C**

	test n.	1	2	3	4	5	6	7	8
Q	l/h	690	1020	1270	1540	1970	2100	2195	2320
$\Delta H_m$	mm c.a.	550	1070	1530	2150	3270	3660	3940	4320
$\Delta H_r$	mm c.a.	38	90	144	216	361	412	452	507
$\Delta H_s$	mm c.a.	512	980	1386	1934	2909	3248	3488	3813
j	mm c.a./m	2,5	4,9	6,9	9,6	14,4	16,1	17,3	18,9

*Tabella delle cadute di pressione nella sonda*

Nel caso in esame, come verrà evidenziato e giustificato nei successivi paragrafi, il liquido termovettore sarà costituito da acqua semplice senza alcuna aggiunta di antigelo. La portata d'acqua ottimale di ciascuna sonda potrà essere compresa fra **1200 e 1400 litri/h.** Con tali valori di portata si avrà una velocità in ciascun ramo delle sonde di compresa fra **0,31 e 0,36 m/s**, una perdita di carico lineare compresa fra **6,0 e 8,0 mm c.a./m**, ed un regime idraulico certamente turbolento con numero Reynolds compreso fra **7891 e 9310**.

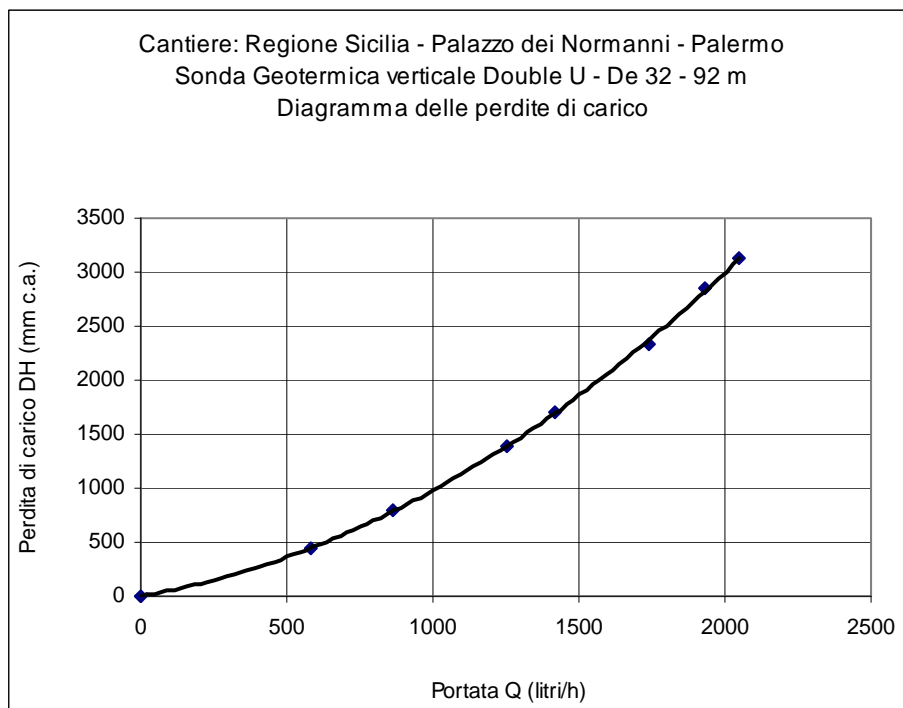


Fig. 1 - Diagramma delle perdite di carico

## 6. VALORI RILEVATI CON IL GRT

Nel grafico sottostante si riporta l'andamento dei valori della temperatura di mandata, della temperatura di ritorno, della temperatura ambiente, della portata d'acqua e della potenza elettrica nell'intervallo di tempo oggetto di analisi.

Si evidenziano chiaramente le diverse fasi della prova, con il primo periodo in sola circolazione e l'andamento caratteristico della temperatura del fluido dal momento dell'accensione delle resistenze elettriche di riscaldamento

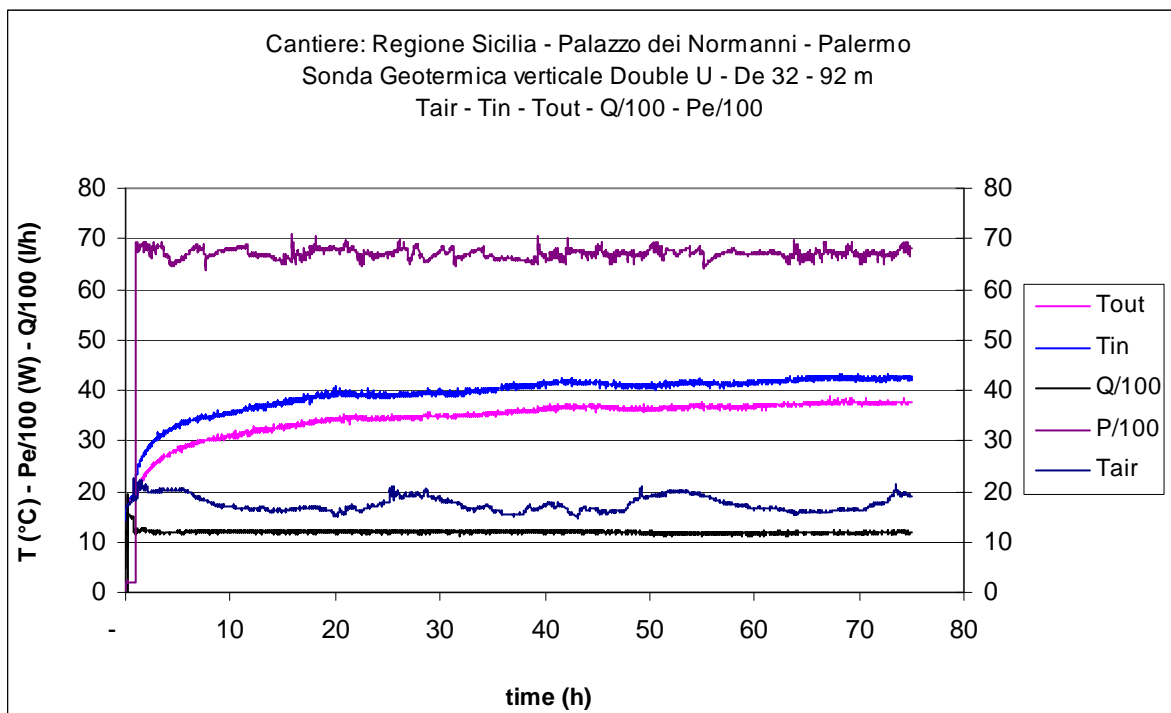


Figura 2 - Andamento della potenza elettrica, delle temperature e della portata in funzione del tempo

## 7. DETERMINAZIONE CONDUTTIVITÀ TERMICA

Nella figura 3 si può vedere l'andamento della temperatura media dell'acqua nel tempo.

Sulla base di una rielaborazione della teoria della sorgente termica lineare in un mezzo omogeneo è possibile ottenere il valore della conduttività termica del suolo ricavabile dal coefficiente angolare della retta interpolante il valore della temperatura media del fluido in funzione del logaritmo naturale del tempo. Tale coefficiente angolare nel caso in esame è risultato pari a **3,21**.

Si può notare la stabilizzazione dei valori di temperatura (esclusi naturalmente i transitori iniziali) che attestano la corretta esecuzione del test.

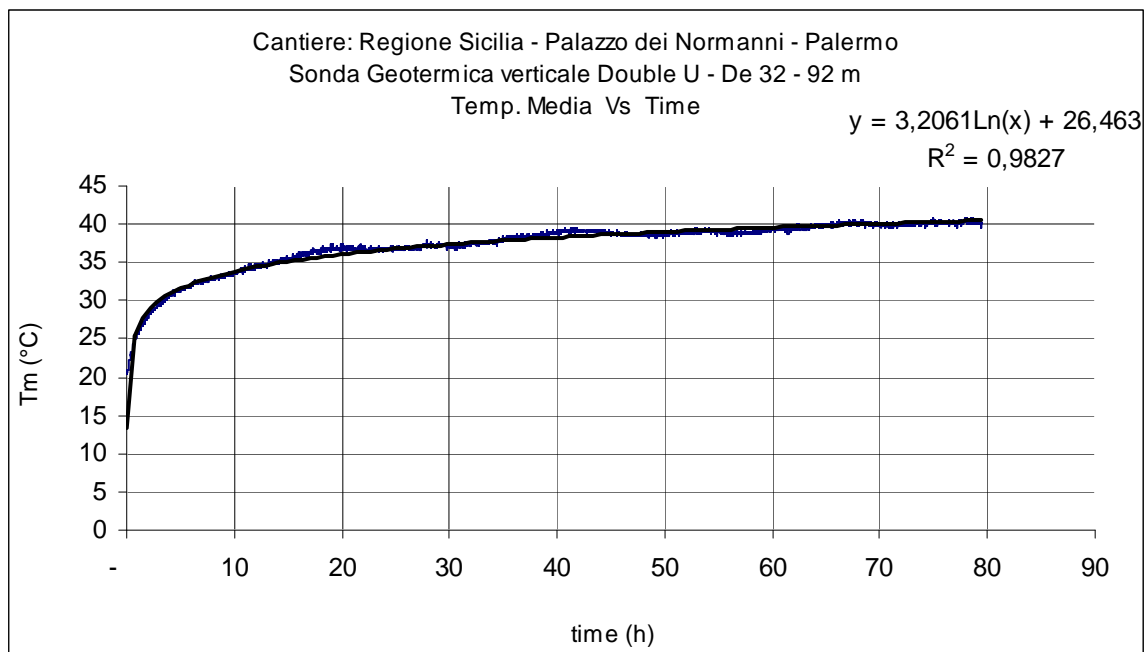


Figura 3 - Andamento della temperatura media nel tempo

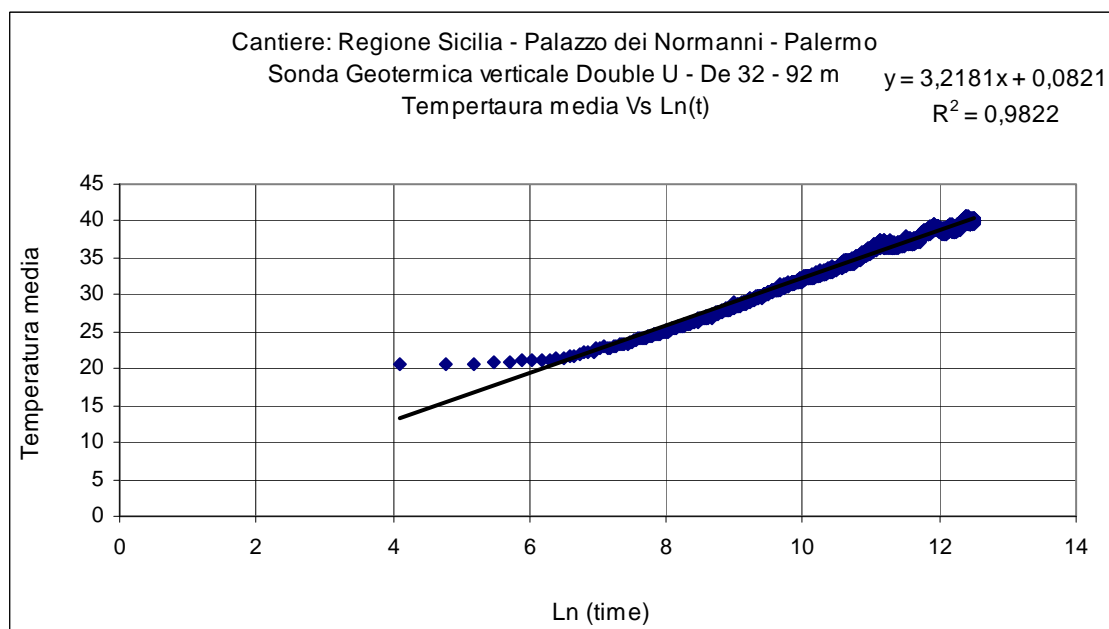


Figura 4 - Temperatura media del fluido in funzione del logaritmo naturale del tempo

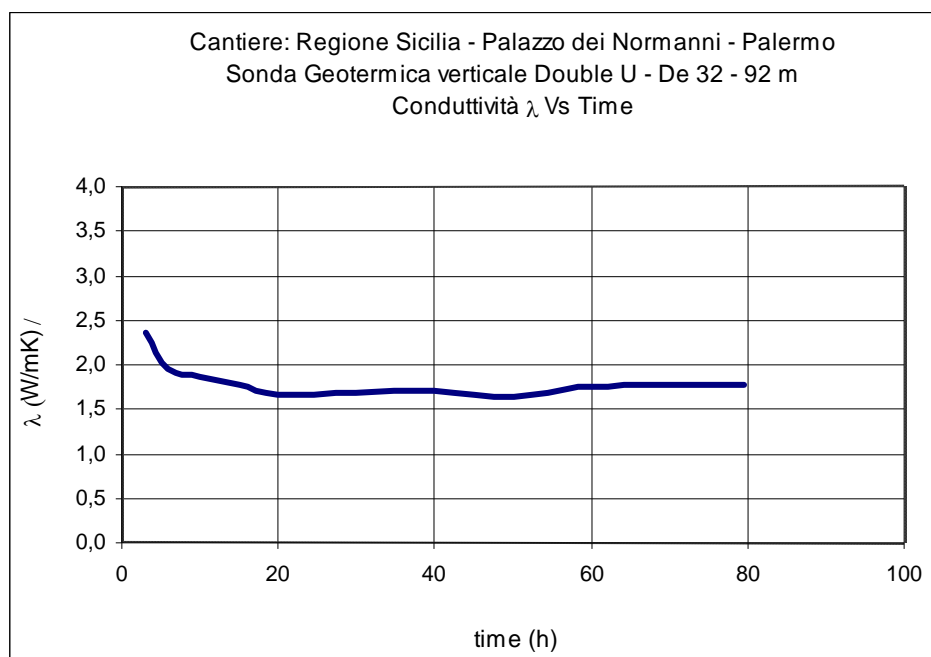


Figura 5 - Calcolo conducibilità termica con modalità step-wise

Il valore della conducibilità termica così determinato è pari a:

$$\lambda = 1,78 \text{ W/mK}$$

Si tratta di un buon valore di conducibilità.

L'andamento del diagramma di fig. 5, con la stabilizzazione dei valori della conducibilità nel tempo, conferma la correttezza del test.



## 8. CALCOLO DEL VALORE DELLA RESISTENZA TERMICA EFFETTIVA

Sulla base del valore calcolato di conduttività e dei dati caratteristici dell'installazione è possibile calcolare anche la resistenza termica effettiva del pozzo geotermico, dato di grande importanza nel processo di dimensionamento.

La resistenza termica effettiva del pozzo rappresenta infatti il dato rappresentativo delle caratteristiche della sonda stessa ed è l'unico valore su cui si può agire al fine di migliorare le prestazioni di scambio termico del sistema, con l'obiettivo di minimizzarla.

Il valore della resistenza termica equivalente del pozzo  $R_b$ , in via semplificata, permette di determinare la relazione fra la temperatura del terreno nell'intorno dello scambiatore e la temperatura del fluido termovettore. Se  $q$  è la potenza specifica di estrazione in W/m,  $T_b$  la temperatura del terreno nell'intorno del pozzo e  $T_f$  la temperatura media del fluido, per definizione la resistenza termica è determinata dalla relazione fra la differenza di temperatura ed il flusso termico estratto:

$$T_b - T_f = qR_b$$
$$T_f = \frac{T_{fin} + T_{fout}}{2}$$

Le prestazioni di scambio termico istantanee del sistema geotermico sono poi determinate dal terreno stesso e dalla resistenza termica  $R_g$ . Lo schema delle resistenze termiche coinvolte è rappresentato nella figura seguente.

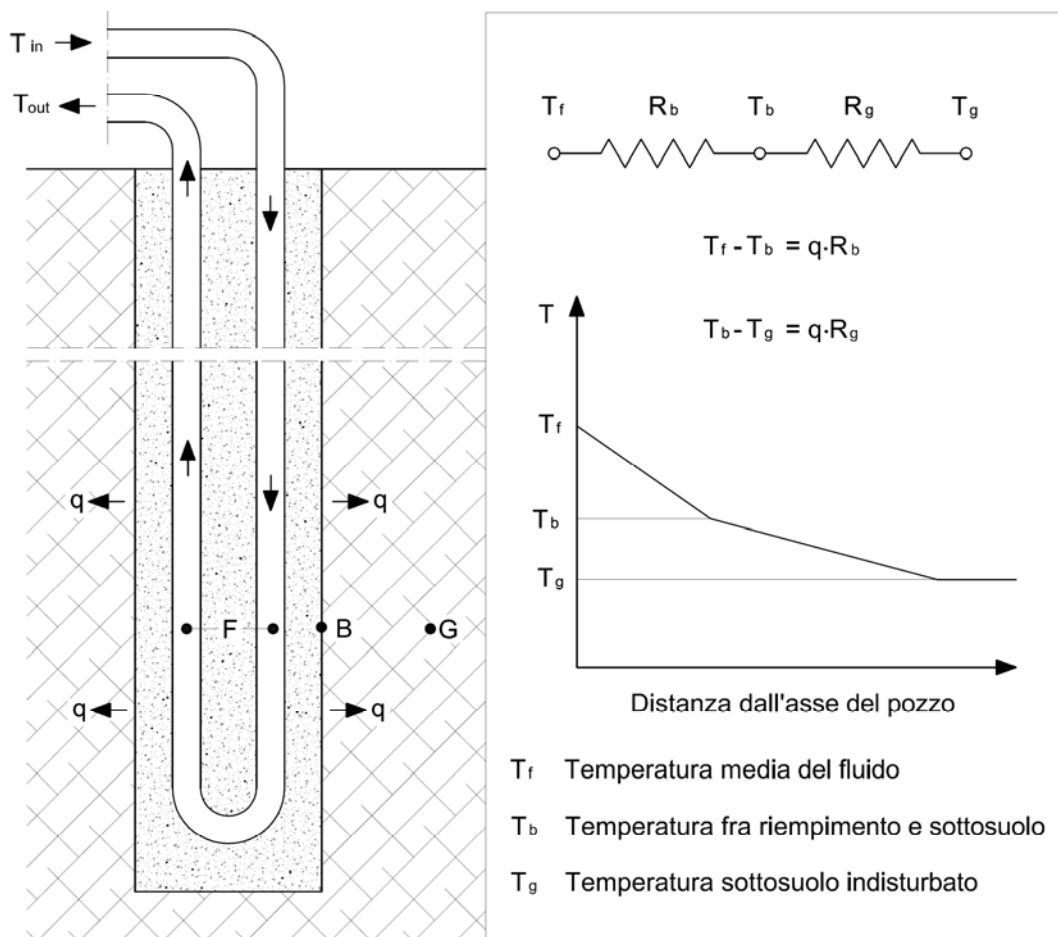
$R_b$  RESISTENZA TERMICA EQUIVALENTE DEL POZZO


Figura 6 - Schema delle resistenze termiche caratteristiche di un'installazione geotermica

Il valore di  $R_b$  è anch'esso calcolabile utilizzando la teoria della sorgente lineare; nel caso in esame è risultato pari a:

$$R_b = 0,11 \text{ mK/W}$$

Anche in questo caso è possibile rappresentare il valore calcolato nel tempo al fine di avere ulteriore conferma della correttezza del test eseguito.

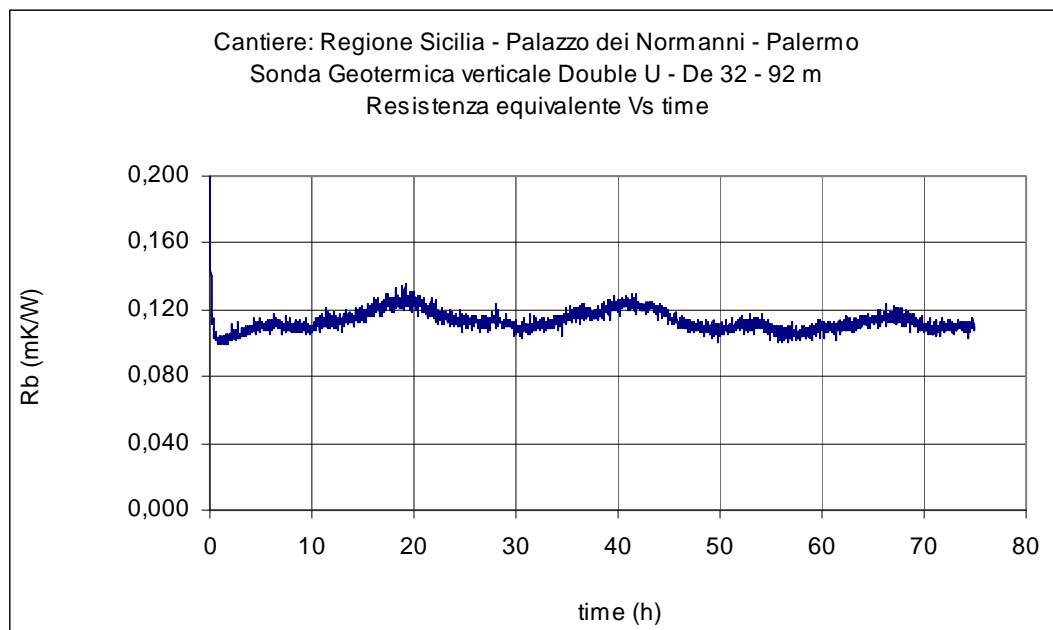


Figura 7 - Andamento della resistenza equivalente del pozzo

## 9. FABBISOGNI TERMICI E FRIGORIFERI DELL'EDIFICIO

Come trasmesso dall'ing. Pennacchio, progettista dell'impianto, il campo geotermico ricade in un sito d'interesse storico ed archeologico e vi è una limitata area utile destinata al campo geotermico in cui è possibile installare un numero massimo di 15 sonde verticali, ciascuna della lunghezza di 130 m, ad una distanza di 4,0 m tra loro.

La simulazione dinamica del campo-sonde viene condotta al fine di verificare che possano essere soddisfatti tutti i fabbisogni termici invernali ed a neutralizzare i carichi termici estivi, trasmessi dal Progettista dell'impianto e riportati nei seguenti prospetti:



POTENZE DI PICCO – FABBISOGNI TERMICI – CARICHI TERMICI ESTIVI – FABBISOGNI PER ACS				
Potenza picco invernale kW	Potenza di picco estiva kW	Fabbisogni termici invernali kWh/anno	Carichi termici estivi kWh/anno	Energia per acs kWh/anno
150	148	100.000	85.000	0,00

FABBISOGNI TERMICI INVERNALI MENSILI (kWh)											
GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
33.000	27.000	14.000									59.800

CARICHI TERMICI ESTIVI MENSILI (kWh)											
GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
			7.650	10.200	14.450	21.250	21.250	10.200			

Nel caso in esame i carichi termici estivi hanno un valore abbastanza elevato. Per poter scaricare nel sottosuolo elevate quantità di calore, al fine di ottenere come effetto utile elevate quantità di energie frigorifere, è necessario che la max temperatura del liquido termovettore sia la più alta possibile; tale limite di temperatura deve tener conto sia delle condizioni di esercizio limiti delle pompe di calore sia della necessità di non compromettere la resistenza meccanica dei manufatti costituenti le sonde. Nel caso in esame si ritiene fissare come limite max il valore di 50 °C; temperature maggiori degraderebbero il valore di COP delle macchine in maniera inaccettabile.

La necessità di operare, durante il funzionamento estivo, con tale temperatura obbliga ad installare sonde geotermiche costituite da tubi in PEX-A PN16 (polietilene reticolato) i quali hanno un campo di lavoro compreso fra -40 e +95 °C.

Prevedendo che come liquido termovettore verrà utilizzata semplice acqua, nei risultati della simulazione dinamica occorrerà verificare che la temperatura minima raggiunta dall'acqua non sia minore di 4 °C (limite previsto dalla Bozza di Norma UNI sopra riportata per i sistemi funzionanti ad acqua). La possibilità concreta di poter operare con acqua semplice comporterà notevoli risparmi sia per non dover acquistare l'antigelo, sia per il minor costo delle elettropompe, sia infine per il minor consumo di energia elettrica delle stesse.

Operativamente, una volta impostate le caratteristiche del campo sonde, il fabbisogno termico ed i carichi termici estivi, verranno determinati i valori delle temperature minime a massime raggiungibili e controllare che tali valori siano nei limiti tabiliti.



Inoltre, essendo i corpi scaldanti costituiti da unità di trattamento aria e fancoil (temperatura di funzionamento 40-50 °C), sono stati ipotizzati valori non troppo elevati del SPF (Seasonal Performance Factor), che è stato posto pari a 3,0 per la stagione estiva e 4,0 per la stagione invernale.

Nei seguenti paragrafi vengono riportati i risultati di tale simulazione.

## 10. DATI DI PROGETTO DELLA SIMULAZIONE DINAMICA

La consistenza del campo sonde analizzato è di n. 15 sonde in polietilene reticolato PEX-A PN16, double U De 32x2,9 lunghezza 130 m. La temperatura max del liquido termovettore è di 50 °C, la temperatura minima è di 4 °C.

Numero delle sonde	15
Profondità della sonda	130.00 m
Lunghezza totale delle sonde	1950.00 m

### TERRENO

Conduttività termica del terreno	1.780 W/(m·K)
Capacità termica del terreno	2.800 MJ/(m³·K)
Temperatura del terreno alla superficie	18.50 °C
Flusso di calore geotermico	0.1000 W/m²

### SONDA

Configurazione:	("15 : 3 x 5, U-rectangle")
Profondità della sonda	130.00 m
Distanza tra le sonde	4.00 m
Installazione nella sonda	DOUBLE-U
Diametro della perforazione	152.00 mm
Diametro tubazione ad U	32.000 mm
Spessore tubazione ad U	2.900 mm
Conduttività termica tubazione ad U	0.420 W/(m·K)
Distanza tra i tubi	66.000 mm
Conduttività termica del riempimento	0.640 W/(m·K)
Resistenza di contatto tubo/riempimento	0.0000 (m·K)/W

### RESISTENZA TERMICA

Resistenza termica della sonda tra fluido e terreno	0.1100 (m·K)/W
Resistenza termica interna della sonda	0.5000 (m·K)/W



E' valutato il flusso di calore interno tra tubo/i che sale e che scende

## FLUIDO VETTORE

Conduttività termica	0.5910 W/(m·K)
Calore specifico	4186.000 J/(Kg·K)
Densità	999.000 Kg/m <sup>3</sup>
Viscosità	0.001139 Kg/(m·s)
Punto di congelamento	0,00 °C
Portata per sonda	0.36 l/s

## CARICO TERMICO DI BASE

Carico annuo per ACS	0.00 MWh
Carico invernale annuo	100.00 MWh
Carico estivo annuo	86.00 MWh
Rendimento stagionale (SPF riscaldamento)	4.0
Rendimento stagionale (SPF raffreddamento)	3.0

PROFILO ENERGETICO MENSILE [MWh]					
Mese	Inverno		Estate		Carico terreno
	Fattore	Carico caldo	Fattore	Carico freddo	
GEN	0,330	33,00	0,000	0,00	24,750
FEB	0,270	27,00	0,000	0,00	20,250
MAR	0,140	14,00	0,000	0,00	10,500
APR	0,000	0,00	0,090	7,65	-10,200
MAG	0,000	0,00	0,120	10,20	-13,600
GIU	0,000	0,00	0,170	14,45	-19,267
LUG	0,000	0,00	0,250	21,25	-28,333
AGO	0,000	0,00	0,250	21,25	-28,333
SET	0,000	0,00	0,120	10,20	-13,600
OTT	0,000	0,00	0,000	0,00	0,000
NOV	0,000	0,00	0,000	0,00	0,000
DIC	0,260	26,00	0,000	0,00	19,500
Totale	1,000	100,00	1,000	85,00	-38,333





POTENZA TERMICA DI SCAMBIO CON IL SOTTOSUOLO [W/m]			
Mese	Carico di base	Carico di picco	
GEN	17,39	57,69	-0,00
FEB	14,23	57,69	-0,00
MAR	7,38	0,00	-0,00
APR	-7,17	0,00	-102,56
MAG	-9,55	0,00	-102,56
GIU	-13,53	0,00	-102,56
LUG	-19,90	0,00	-102,56
AGO	-19,90	0,00	-102,56
SET	-9,55	0,00	-102,56
OTT	0,00	0,00	-0,00
NOV	0,00	57,69	-0,00
DIC	13,70	57,69	-0,00

CARICHI TERMICI DI BASE E TEMPERATURE MEDIE DEL FLUIDO (a fine mese) [°C]					
Anno	1	2	5	10	25
GEN	22,15	16,35	16,95	17,63	18,51
FEB	22,15	16,96	17,54	18,21	19,08
MAR	22,15	19,18	19,77	20,43	21,30
APR	22,15	24,84	25,51	26,15	27,02
MAG	26,07	26,25	27,00	27,64	28,50
GIU	28,12	28,26	29,06	29,68	30,54
LUG	31,23	31,43	32,21	32,82	33,68
AGO	32,00	32,19	32,93	33,54	34,39
SET	28,40	28,61	29,29	29,90	30,75
OTT	24,60	24,92	25,52	26,13	26,97
NOV	24,38	24,72	25,27	25,88	26,71
DIC	18,60	18,90	19,42	20,04	20,86

ANNO

Temperatura media min del fluido in riscaldamento

Temperatura media max del fluido in raffrescamento

25°

18,51 °C alla fine di GEN

34,39 °C alla fine di AGO



CARICO DI PICCO IN RISCALDAMENTO E CARICO DI BASE IN RAFFRESCAMENTO (temperature di picco in riscaldamento e temperature medie in raffreddamento)					
Anno	1	2	5	10	25
GEN	22,15	8,19	8,79	9,47	10,35
FEB	22,15	8,31	8,89	9,56	10,43
MAR	22,15	19,18	19,77	20,43	21,30
APR	22,15	24,84	25,51	26,15	27,02
MAG	26,07	26,25	27,00	27,64	28,50
GIU	28,12	28,26	29,06	29,68	30,54
LUG	31,23	31,43	32,21	32,82	33,68
AGO	32,00	32,19	32,93	33,54	34,39
SET	28,40	28,61	29,29	29,90	30,75
OTT	24,60	24,92	25,52	26,13	26,97
NOV	16,27	16,62	17,17	17,78	18,61
DIC	9,81	10,12	10,64	11,25	12,08

ANNO

Temperatura minima del fluido in riscaldamento

Temperatura media massima del fluido in raffreddamento

25°

10,35 °C alla fine di FEB

34,39 °C alla fine di AGO

CARICO DI BASE IN RISCALDAMENTO E CARICO DI PICCO IN RAFFRESCAMENTO (temperature medie in riscaldamento e temperature di picco in raffreddamento)					
Anno	1	2	5	10	25
GEN	22,15	16,35	16,95	17,63	18,51
FEB	22,15	16,96	17,54	18,21	19,08
MAR	22,15	38,65	39,32	39,97	40,84
APR	39,13	39,32	40,07	40,71	41,57
MAG	42,24	42,39	43,18	43,80	44,67
GIU	45,41	45,61	46,38	46,99	47,85
LUG	46,17	46,37	47,11	47,72	48,57
AGO	41,47	41,68	42,36	42,97	43,82
SET	24,60	24,92	25,52	26,13	26,97
OTT	24,38	24,72	25,27	25,88	26,71
NOV	18,60	18,90	19,42	20,04	20,86
DIC	22,15	16,35	16,95	17,63	18,51

ANNO

Temperatura minima del fluido in riscaldamento

Temperatura media massima del fluido in raffreddamento

25°

18,51 °C alla fine di FEB

48,57 °C alla fine di AGO

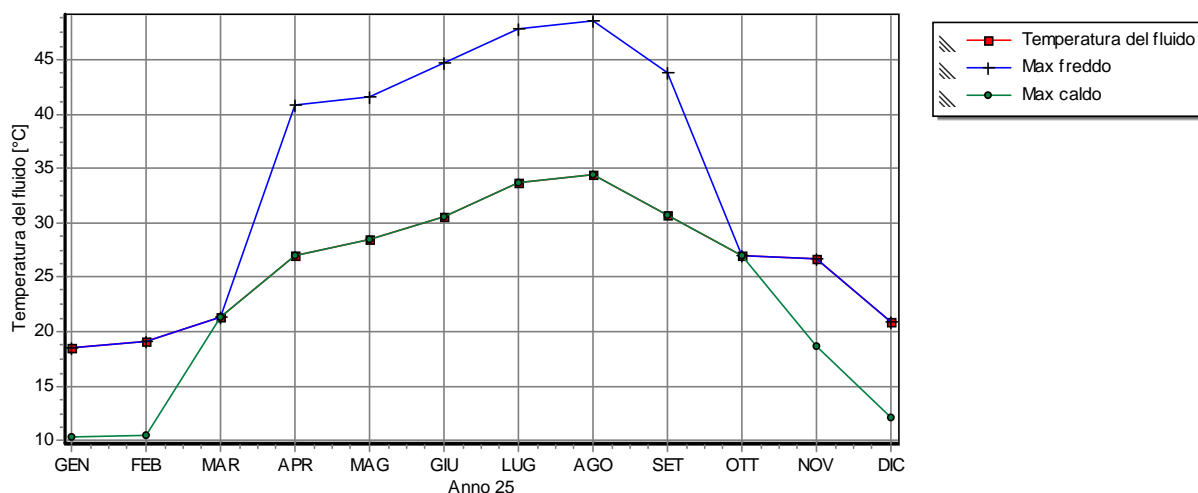
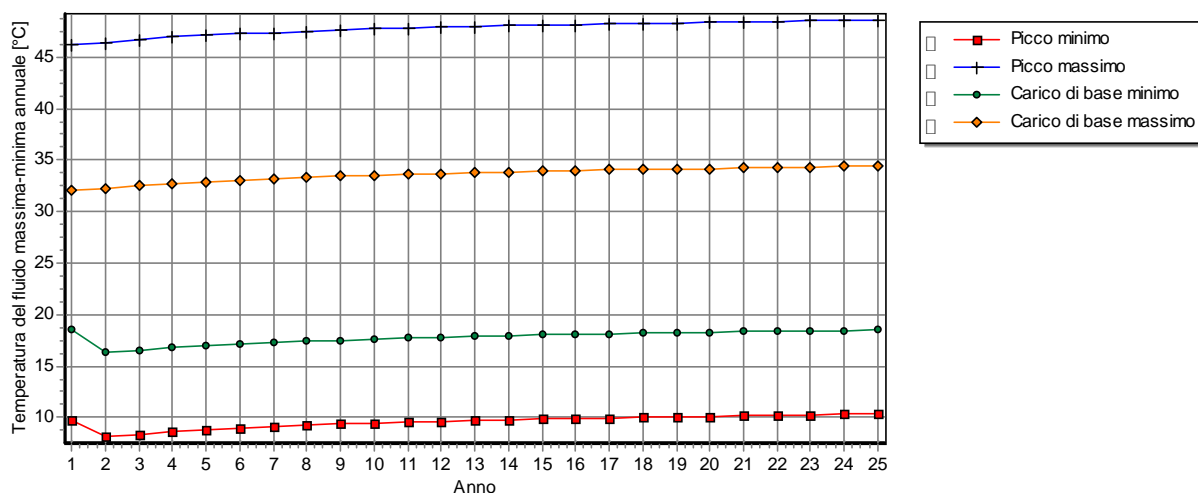


Figura 8- Temperature medie del fluido in condizioni di picco  
e in condizioni medie al venticinquesimo anno



*Figura 9 - Temperature minime e massime  
 in condizioni di picco e in condizioni di carico di base*

## 12. CONCLUSIONI

Il campo sonde esaminato, costituito da n. 15 sonde double U, 32x2,9, in polietilene reticolato, è in grado di soddisfare i fabbisogni termici e frigoriferi richiesti dall'edificio in epigrafe. In particolare, detto campo sonde potrebbe far fronte a fabbisogni termici invernali anche maggiori ove ve ne fosse necessità. Il valore della minima temperatura in funzionamento invernale (circa 10 °C) consente di poter utilizzare come liquido termovettore acqua semplice con indubbi vantaggi economici sopra ricordati. Il valore della massima temperatura raggiungibile dal liquido è, in funzionamento estivo, di 48,6 °C, minore del limite sopra stabilito (50 °C).