



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"

**Palazzo dei Normanni: la Presidenza e le Sale di Rappresentanza
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. Vita Giostra

Progettazione impianti P.I. Ing. Antonino Pennacchio

Studio geologico Dott. Geologo Ignazio Giuffrè

Collaboratori: Ing. Andrea Catalano

Commitente: Assemblea Regionale Siciliana

R.U.P. Ing. Giulio Cavasio

versione:	descrizione:	preparato:	approvato:	data:
01	Progetto Esecutivo	AP	VG - AP	febbraio 2012
Nome file: A02_20120201_GEO			Distribuzione: Riservata	



Regione Siciliana

Assemblea Regionale Siciliana

“Palazzo dei Normanni: la Presidenza e le Sale di rappresentanza

Realizzazione di un impianto geotermico a bassa entalpia”

POI

“Energie rinnovabili e risparmio energetico”

Relazione tecnica specialistica impianti

INDICE

1. GENERALITÀ	2
2. PREMESSA	2
3. RIFERIMENTI NORMATIVI:	3
4. CRITERI PROGETTUALI.....	4
5. DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI.....	5
6. CENNI SULLA GEOTERMIA.....	6
7. IMPIANTO DI CLIMATIZZAZIONE ESTIVO/INVERNALE CON POMPA DI CALORE GEOTERMICA	7
8. VALUTAZIONI ENERGETICHE ED IMPATTO AMBIENTALE	10
ENERGIA RECUPERATA CON FONTE RINNOVABILE GEOTERMICA	12
9. IMPIANTO GEOTERMICO CON POZZI VERTICALI DI PROGETTO.....	12
10. CALCOLO E DIMENSIONAMENTO DEL GEOSCAMBIATORE	17
11. PERFORAZIONE E PRESCRIZIONI TECNICHE	21
12. ZONE INTERESSATE DAL PROGETTO	29
13. CONFRONTO ENERGETICO TRA DUE SISTEMI.....	33

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 la sede dell’ A.R.S. Regione Sicilia “Palazzo dei Normanni: la Presidenza e le Sale di rappresentanza per la realizzazione di un impianto geotermico a bassa entalpia” con pompe di calore, con le procedure di cui al D.P.R. 207/2010.

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 :

- **Presidenza:** impianti con terminali a ventilconvettori;
- **Sale di rappresentanza:** impianti a tutt’aria con Unità di Trattamento Aria;
- **Sala Duca di Montalto:** impianti a tutt’aria con Unità di Trattamento Aria;
- **Ufficio Stenografico :** impianti con terminali a ventilconvettori;

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 (CO₂) provenienti dall’utilizzo di sistemi per la climatizzazione ambientale.

Ipotizzando una crescita sostenibile, è necessario mirare a ridurre le emissioni di CO₂ 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;

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 sede 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.

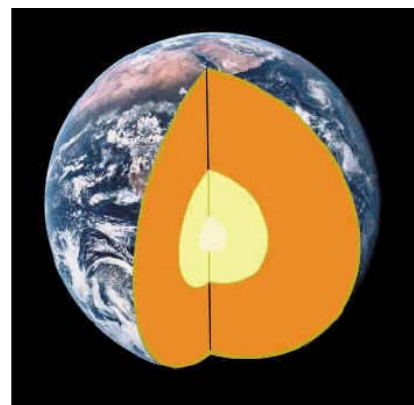
Si tratta di un sistema di climatizzazione ad espansione multipla e diretta nel quale possono essere collegate più unità esterne in parallelo.

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.

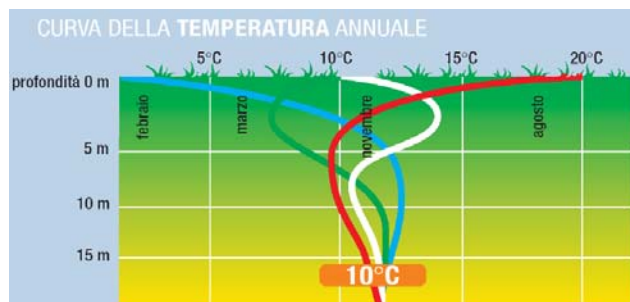
6. CENNI SULLA GEOTERMIA

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

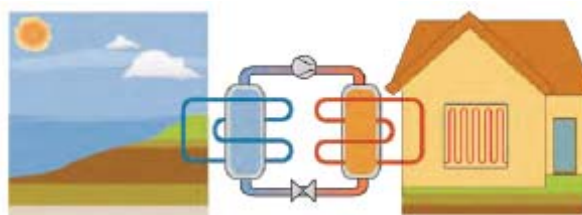
L'impianto di climatizzazione che s'intende realizzare è principalmente costituito da una o più unità a pompa di calore del tipo acqua-acqua, e da circuiti idraulici con sonde di scambio termico a sviluppo verticale.

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).

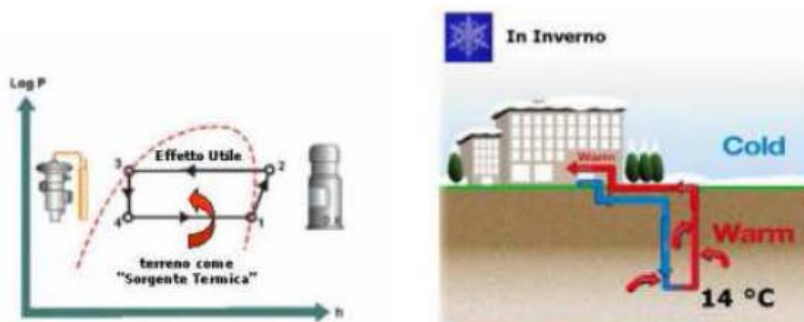


Fig. 2: utilizzo invernale del geoscambiatore come sorgente di calore da consegnare all'edificio

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).

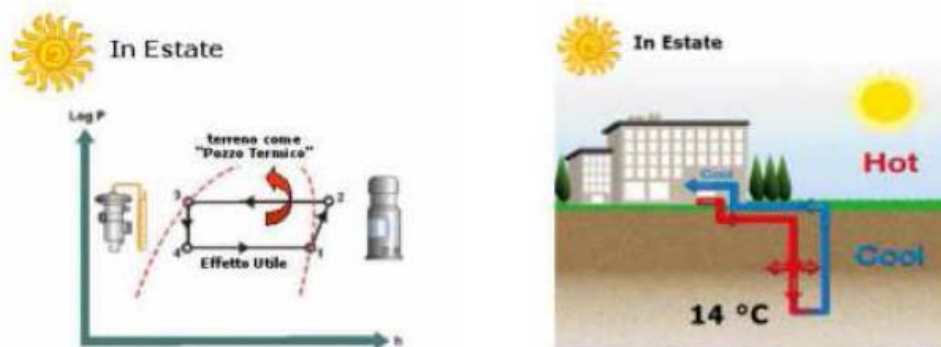


Fig. 3: utilizzo estivo del geoscambiatore come pozzo di calore sottratto all'edificio

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.

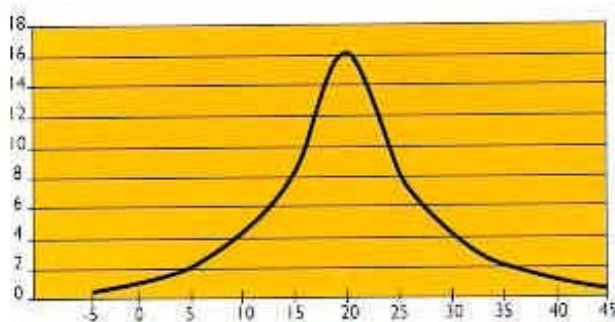
In queste condizioni le pompe di calore raffreddate o riscaldate dall'acqua da impianto geotermico invece che dall'aria, hanno rendimenti tali da costituire un'alternativa economica, anche dal punto di vista dell'impatto ambientale, ai sistemi di riscaldamento e climatizzazione basati su sistemi a combustione.

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°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°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.

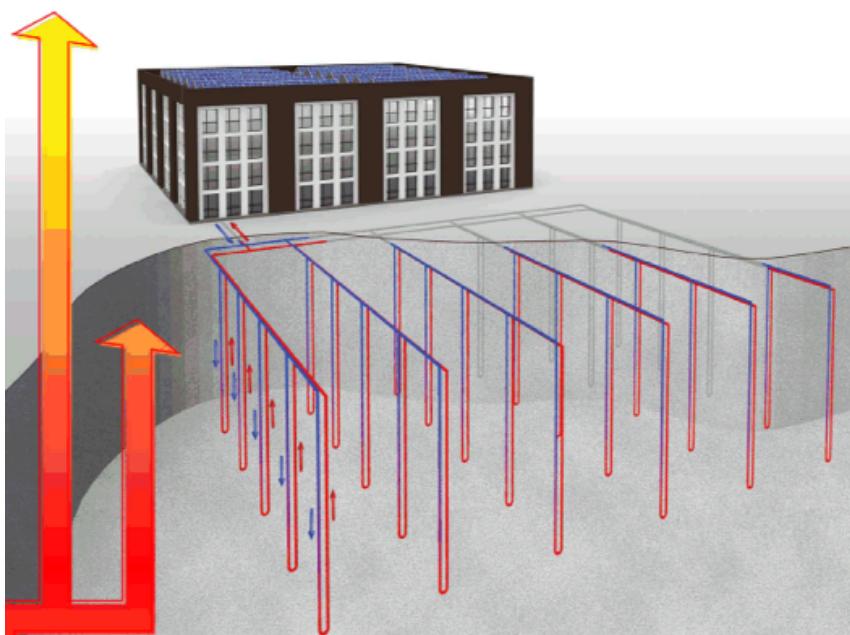
ENERGIA RECUPERATA CON FONTE RINNOVABILE GEOTERMICA		
Portata acqua di condensazione di progetto		
Q :	54÷66	mc/h
Dt:	3÷5	°C
Potenza termica fruibile		
C:	318÷375	Kwf-kwt

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);

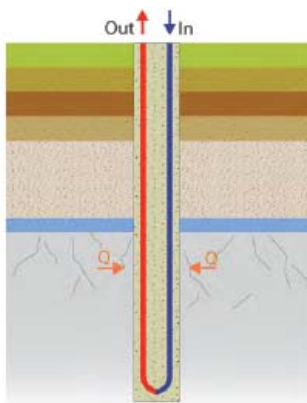
- range massimo di oscillazione annuale della temperatura del fluido termovettore intermedio (semplice acqua grezza se il geoscambiatore è opportunamente dimensionato);
- tipologia di arrangiamento e/o configurazione della matrice di geosonde inserite nel terreno;
- estensione e arrangiamento geometrico 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.

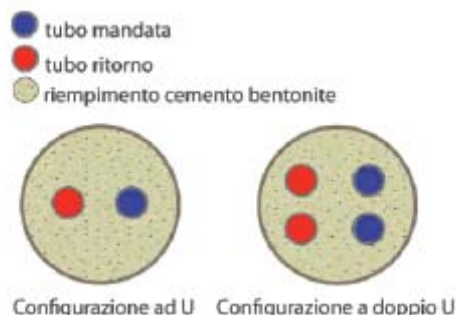
Alle profondità suddette il terreno mantiene una temperatura che si aggira intorno ai 15°C senza risentire delle variazioni climatiche esterne.

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.

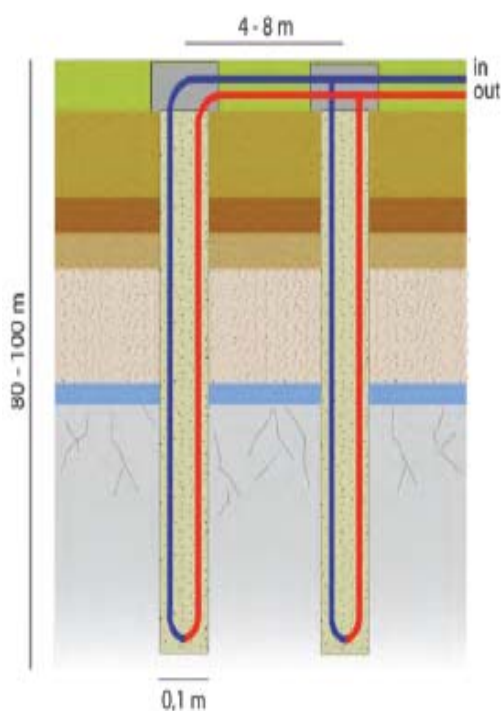


Come si osserva nelle figure, in ciascun pozzo, una volta collocati i tubi, viene introdotto un materiale di riempimento tra i tubi e le pareti del pozzo al fine di assicurare un buon contatto termico con il suolo circostante.

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.

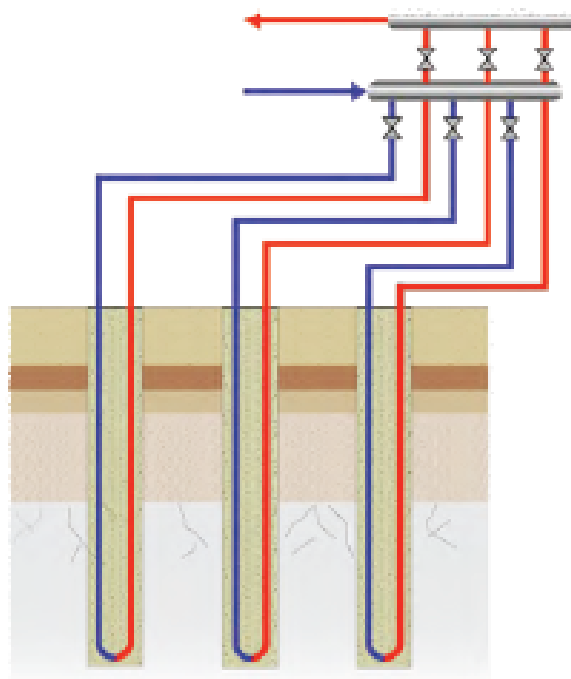
In base allo spazio a disposizione, è necessario studiare, nella fase più avanzata del progetto, anche per mezzo di opportuni sondaggi, la geometria del sistema di sonde in modo da conferire loro una distanza reciproca sufficiente ad impedire l'interferenza termica tra una sonda e l'altra: il range è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

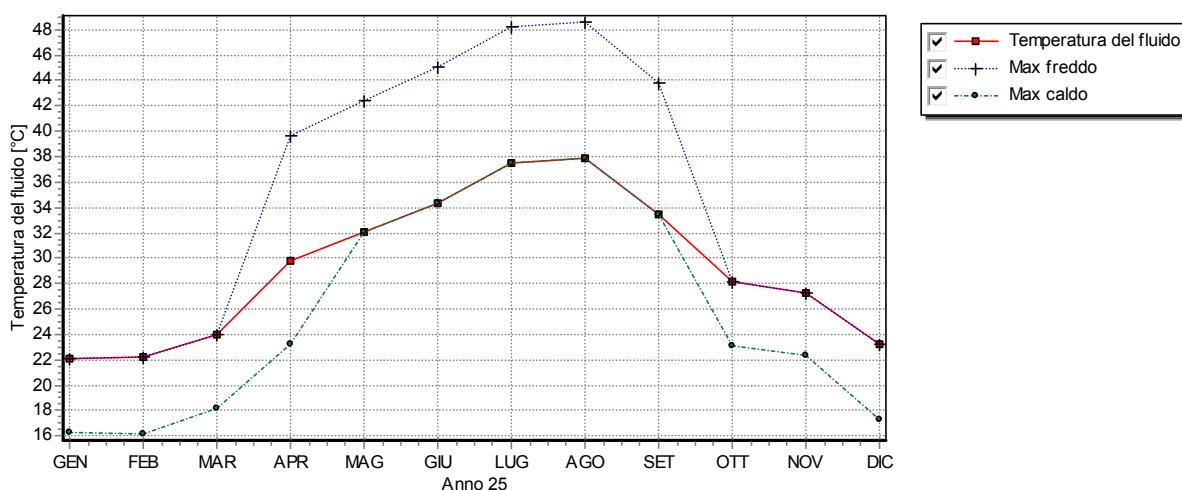
Risultati del dimensionamento :

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 = 310 kW;
- Potenza di picco estiva = 316 kW;
- Temperatura max. liquido vettore = 50°C;
- Temperatura min. liquido vettore = 4°C;
- Temperatura media del terreno $t = 18,6$ [°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 36 (trentasei), disposte su una griglia 6 x 6 m. con distanza minima tra ciascuna geosonda di 6 m (centro-centro perforo);
- diametro complessivo perforazione = $\varnothing 150\div160$ 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 = 4680 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.4 collettori De160 in PP-R, per il collegamento massimo di n.9 geosonde. 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

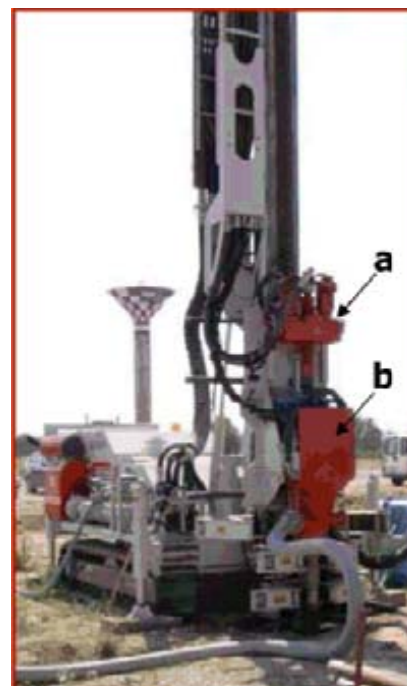
La realizzazione di ogni singola geosonda verticale si compone fondamentalmente di tre successive fasi operative che sono qui di seguito elencate:

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.

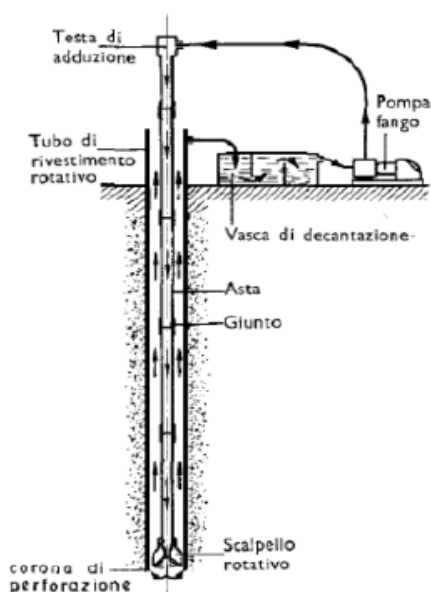


A fianco, tecnologia di perforazione a doppia testa appositamente sviluppata per installazione nel terreno di sonde geotermiche a bassa entalpia.

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.

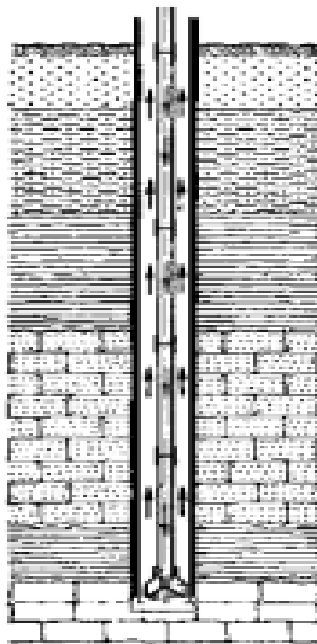
Altro elemento di innovazione di questa tecnologia di trivellazione è rappresentata dalla corona esterna di perforazione costituita da una serie di strutture tubolari di acciaio, di determinata lunghezza e collegate insieme con sistemi filettati maschio-femmina, che costituiscono la “colonna metallica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

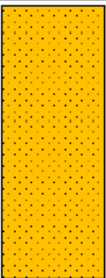

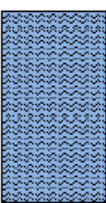
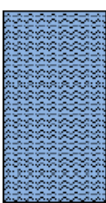
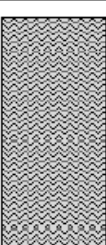
FASE 4) Procedura di test di tenuta della sonda-tubazione

- 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 impedito 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**PALAZZO DEI NORMANNI**

Profondità (m)	Spessore (m)	Stratigrafia	Descrizione	Conducibilità termica λ (W/m*k)	Potenza estraibile per metro di perforazione (resa) (W/m)
20.7	20.7		Terreno di riporto	1.4	20
25.5	4.8		Calcareni a grana grossa ben cementate	20	50
39.5	14.0		Argille Azzurre prevalentemente sabbiose	0.5	30
54.5	15.0		Argille Azzurre prevalentemente con livelli di calcareniti grigie	0.5	30
91.5	37.0		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 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 :

- **Presidenza:** impianti con terminali a ventilconvettori;
- **Sale di rappresentanza:** impianti a tutt'aria con Unità di Trattamento Aria;
- **Sala Duca di Montalto:** impianti a tutt'aria con Unità di Trattamento Aria;
- **Ufficio Stenografico :** impianti con terminali a ventilconvettori;

Ciascuna zona oggetto dell'intervento è dotata di proprio impianto indipendente, 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, alle nuove unità esterne.

Per le Sale di Rappresentanza, saranno realizzati nuovi punti di connessione in by-pass sui collettori esistenti ubicati nel terrazzo del terzo piano, dove sono alloggiate le attuali macchine di climatizzazione.

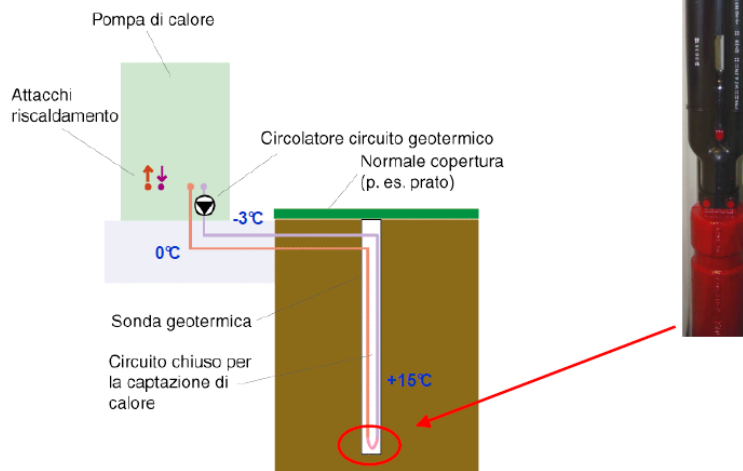
Per la zona Presidenza e Ufficio Stenografico, nel terrazzo dove sono presenti le attuali pompe di calore presso la “Torre Pisana”.

Per la Sala Duca di Montalto, in adiacenza all'attuale pompa di calore all'ingresso dei giardini esterni, sito scelto anche per l'installazione della nuova pompa di calore geotermica.

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 preisolate, che si estende attraverso i cortili esterni adiacenti i “Giardini del Reali” e la “Cavallerizza” 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 preisolate, installate all'interno dello scavo o del cunicolo tecnico dei servizi per raggiungere la sottocentrale delle singole zone.

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

SISTEMA	ZONA	N°UNITA' ESTERNA	POT FRIGO [kWf]	POT FRIGO tot [kWf]	FATT - CONT
1	Presidenza	1	78	78	80%
2	Ufficio Stenografico	1	15	15	80%
3	Sale di rappresentanza	2	87	174	100%
4	Sala Duca di Montalto	1	93	93	80%

Pertanto la potenza termica installata risulta :

- ❖ Potenza Termica per raffrescamento estivo : 360 kWf
- ❖ Potenza Termica per riscaldamento invernale : 363 kWt
- ❖ Potenza Elettrica max assorbità media (est-inv) : 166 kWe
- ❖ COP medio 2 ÷ 2,2
- ❖ Pressione sonora a 5 m [dba] 60

Assunto che i due sistemi sono piuttosto vetusti e i dati di targa non corrispondono alla reale potenza erogata, utilizzando i seguenti terminali di distribuzione :

1. N. 18 Ventilconvettori a pavimento;
2. N. 12 Ventilconvettori a parete;
3. N. 5 Unità di trattamento aria;

Caratteristiche della nuova pompa di calore geotermica:

Pertanto la potenza termica installata risulta :

❖ Potenza Termica per raffrescamento estivo :	318,4 kWf
❖ Potenza Termica per riscaldamento invernale :	374 kWt
❖ Potenza Elettrica max assorbità (est-inv) :	63÷82 kWe
❖ COP medio	4.4
❖ ESEER medio	5.6
❖ Pressione sonora a 5 m [dbA]	53
❖ Refrigerante :	R410A
❖ Compressori scroll:	4
❖ Circuiti frigoriferi:	2

13. CONFRONTO ENERGETICO TRA DUE SISTEMI

Risparmio di potenza unitaria in termini di energia per KWh

103,0 kwhe in meno estate	163%
84,0 kwhe in meno inverno	102%

Orari giornalieri di accensione impianto di climatizzazione

ESTATE	INVERNO
dalle 8 alle 18	dalle 8 alle 16
10 ore	8 ore
6 mesi (apr-mag-giu-lug-ago-set)	mesi (ott-nov-dic-gen-feb-mar)
180 giorni	120 giorni
0,95 fc	0,95 fc

Energia elettrica risparmiata annua

176'130,00 kwh	kwh	76'608,00
-----------------------	-----	------------------

totale risparmio annuo	252'738,60 kwh	pari a	40'438,080	Euro/anno
	252,7 MWh			
	47,26 tep			
	909,86 Gj			
	58.000 kgCO ₂			
	10.91 kgCO ₂ /mc			

Palermo, lì febbraio 2012

il tecnico

P.I.Ing. A.no Pennacchio