



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA
Dipartimento di Ingegneria Industriale DII
Corso di Laurea in Ingegneria dell'Energia

Relazione per la prova finale

La geotermia a bassa entalpia in ambito civile: pompe di calore geotermiche, valutazione economico-ambientale e normazione nella Regione Veneto.

Tutor Universitario: Prof. Andrea Lazzaretto

Gianluca Bragagnolo

Matricola 1224967

Anno Accademico 2021/2022

Abstract

L'impatto ambientale proveniente dall'utilizzo di fonti fossili per i bisogni energetici dell'uomo genera la necessità di sostituirle gradualmente con tecnologie che siano in grado di sfruttare energie rinnovabili con il minimo impatto ambientale possibile. L'energia geotermica, sfruttata tramite le pompe di calore in ambito civile, potrebbe rappresentare un'alternativa alle più inquinanti tecnologie tradizionali che utilizzano combustibili fossili. In questa tesi si discutono i vari aspetti legati all'energia geotermica facendo il punto sulla disponibilità e sull'utilizzo in Italia, se ne presentano le tecnologie ed i relativi impianti, si discutono i vantaggi relativamente ai tipi d'impianto maggiormente diffusi, gli svantaggi ed il possibile impatto ambientale, infine si presentano le norme che ne regolano la progettazione e realizzazione nelle province della Regione Veneto.

INDICE

1. Introduzione.....	4
2. La geotermia.....	6
2.1 Aspetti generali.....	6
2.2 Situazione in Italia.....	7
3. Impianti a pompa di calore.....	9
3.1 Spiegazione generale.....	9
3.2 Indici di prestazione.....	10
3.3 Sorgenti di calore.....	10
3.4 Fonti di alimentazione elettrica.....	11
4. Pompe di calore geotermiche.....	12
4.1 Impianti a ciclo aperto (a singolo e doppio pozzo).....	12
4.2 Impianti a ciclo chiuso.....	13
4.2.1 Sonde a bassa profondità.....	14
4.2.2 Sonde a media profondità.....	15
4.2.3 Sonde ad alta profondità.....	17
4.3 Schema funzionale.....	18
4.4 Componenti.....	19
5. Confronto economico-ambientale.....	20
5.1 Confronto tra impianti con pompa di calore e sistemi tradizionali.....	20
5.2 Confronto tra pdc geotermica e pdc ad aria.....	20
5.3 Prestazioni delle pompe di calore geotermiche.....	21
5.4 Comparazione di prestazioni energetiche e produzione di CO ₂ tra diversi sistemi di climatizzazione.....	24
5.5 Confronto economico.....	27
5.6 Applicabilità e convenienza.....	27
5.7 Considerazioni ambientali e impatto delle sonde geotermiche sul sottosuolo.....	28
5.8 Risultati raggiunti.....	29
5.9 Analisi critica dei risultati.....	30
6. Normazione nella Regione Veneto.....	31
6.1 Provincia di Vicenza.....	31
6.2 Provincia di Belluno.....	33
6.3 Provincia di Rovigo.....	34
6.4 Provincia di Venezia.....	35
6.5 Provincia di Verona.....	37
6.6 Provincia di Treviso.....	38
7. Conclusioni.....	40
8. Bibliografia.....	42

1. INTRODUZIONE

Abstract: Questo capitolo contiene una presentazione del processo di transizione ecologica ed un quadro generale sulla produzione di energia elettrica in Italia.

Una delle necessità più attuali ed incombenti con cui il nostro paese si trova a dover far fronte, è quella dell'approvvigionamento di energia "pulita". Infatti, il rapido cambiamento climatico a cui stiamo assistendo e gli effetti negativi che questo comporta, ci costringono ad attuare una serie di misure per ridurre l'impatto dell'attività umana sull'ambiente.

Negli ultimi anni, il concetto di transizione ecologica ha assunto sempre più rilevanza nel dibattito globale sulla salvaguardia dell'ambiente, traslando l'attenzione di governi ed agende politiche sulle tecnologie alternative che possono dare un contributo al passaggio dagli attuali sistemi che utilizzano combustibili fossili, a sistemi che utilizzano energie pulite con impatto nullo (o quasi) sull'ambiente.

I recenti cambiamenti nel quadro geopolitico mondiale e nelle relazioni diplomatiche con i fornitori di combustibili fossili a livello internazionale obbligano l'accelerazione di tale transizione e ne modificano inevitabilmente il percorso. La corsa alla diversificazione non può, però, mettere in secondo piano la salvaguardia dell'ambiente ed è per questo motivo che lo sfruttamento delle risorse rinnovabili risulta necessario per non regredire in questo processo.

L'utilizzo delle fonti rinnovabili ha registrato una rapida crescita negli ultimi anni, anche se resta molto marginale in termini assoluti rispetto alle fonti fossili. In base ai dati di Terna (figura 1) relativi all'anno 2020 [1], riguardanti la produzione di energia elettrica in Italia suddivisa per fonte, troviamo ai primi posti:

- 66,7% energia termoelettrica
- 17,6% energia idroelettrica
- 8,9% energia fotovoltaica
- 6,7% energia eolica

Potenza efficiente degli impianti elettrici di generazione in Italia al 31 dicembre 2020

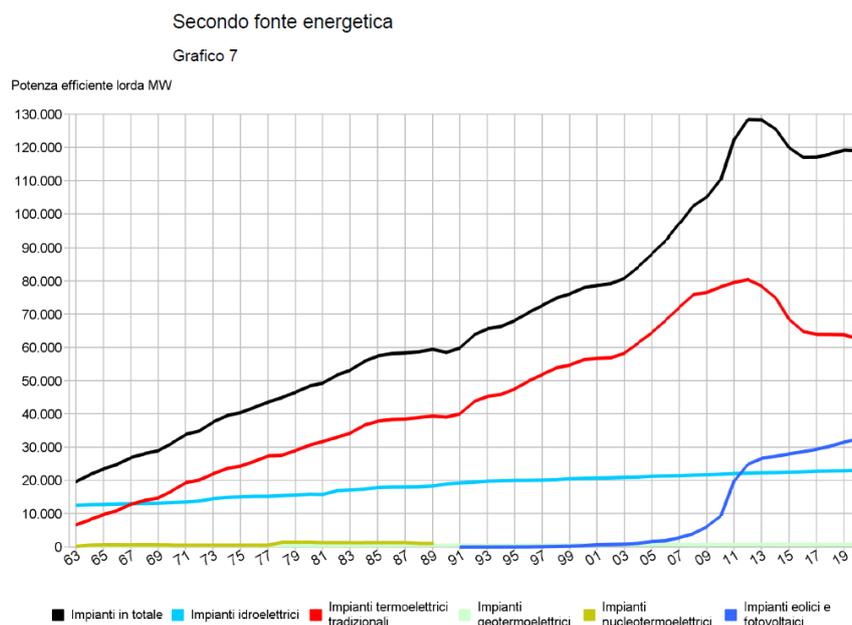


Figura 1 (Potenza degli impianti elettrici di generazione in Italia al 31 Dicembre 2020) [1]

Tra le fonti energetiche rinnovabili meno sfruttate, sia per la produzione di elettricità che per gli usi diretti, troviamo la geotermia. Questa fonte energetica sopperisce solo ad una minima parte del fabbisogno energetico italiano e principalmente per la produzione elettrica.

La geotermia possiede però una grande potenzialità, derivante dalla sua vasta disponibilità e distribuzione nel territorio italiano, soprattutto per quanto riguarda la geotermia a bassa entalpia.

Il suo utilizzo in ambito civile ed industriale potrebbe fornire un'alternativa molto valida rispetto agli attuali sistemi, sia per quanto riguarda la riduzione di emissioni di CO₂ ed inquinanti, sia per quanto riguarda l'indipendenza energetica del nostro paese.

2. LA GEOTERMIA

Abstract: Questo capitolo contiene inizialmente la spiegazione dei meccanismi e delle caratteristiche proprie dell'energia geotermica con le classificazioni delle varie fonti; successivamente si presenta un quadro generale della disponibilità e dello sfruttamento in Italia di tale energia.

2.1 Aspetti generali

L'energia geotermica si presenta sotto forma di calore prodotto dal nucleo della terra a causa di reazioni di decadimento radioattivo delle molecole uranio, torio e isotopi di potassio. Questo processo crea un flusso di calore denominato “*flusso geotermico*”, le cui caratteristiche sono fortemente influenzate da fattori quali morfologia, profondità e composizione della crosta terrestre.

Considerando la disponibilità di energia geotermica del sottosuolo in funzione della profondità, si definisce “*gradiente geotermico*”, il parametro che indica l'aumento della temperatura procedendo dalla superficie verso il nucleo terrestre, espresso in °C che si attesta attorno ad una media di 3°C ogni 100 metri [2].

La composizione del sottosuolo varia considerevolmente lo scostamento da questa media, misurando valori minimi di 0,6°C ogni 100 metri e punte massime di 14°C ogni 100 metri.

Si definisce “*flusso di calore geotermico*” la quantità di energia termica che la Terra rilascia per unità di superficie durante un determinato periodo di tempo. L'unità di misura di riferimento è l'HFU (Heat Flow Unit), corrispondente a 42 mW/m². Questo parametro varia in base alle zone della crosta terrestre in cui il flusso di calore geotermico è misurato, principalmente in base a spessore della crosta, composizione fisico/chimica, presenza di faglie/fosse e dorsali, moti convettivi del mantello interno. Si possono considerare valori medi tipici di riferimento per il flusso di calore geotermico [2]:

- 1,5 HFU per i continenti
- 1,3 HFU nei bacini oceanici
- < 1 HFU nelle fosse
- 2 HFU lungo le dorsali

Questo tipo di energia è fruibile dall'uomo attraverso diverse tecnologie: convertendola in energia elettrica, utilizzandola per la climatizzazione degli edifici, per la produzione di acqua calda sanitaria (ACS), per l'allevamento, agricoltura o semplicemente per attività termali.

La geotermia, oltre a rappresentare una fonte energetica praticamente inesauribile, differisce dalle altre rinnovabili per la sua totale indipendenza dai fenomeni esterni al sottosuolo quali le maree, l'alternanza di giorno e notte, la presenza di vento o irraggiamento solare.

Per contro presenta svantaggi non trascurabili, tra cui il più significativo è rappresentato dall'impossibilità di essere trasportata. Per tale ragione deve essere utilizzata o convertita in altre forme di energia nel sito stesso di prelievo. Un secondo importante svantaggio può essere identificato nella non uniformità della sua distribuzione sulla crosta terrestre. Infatti, il flusso geotermico presenta disomogeneità relativamente ai diversi parametri come descritto sopra.

Le varie risorse geotermiche richiedono, in virtù delle loro caratteristiche, una classificazione in grado di distinguerle per la loro destinazione d'uso. In primo luogo, è usuale classificarle secondo l'entalpia disponibile, utilizzata per caratterizzare il contenuto di energia termica in quanto proporzionale alla temperatura, che risulta un parametro di semplice misura attraverso misure geologiche non invasive. Secondo questo parametro di classificazione vediamo la presenza di risorse geotermiche di alta, media e bassa entalpia (o temperatura). Per quanto riguarda i valori di ogni categoria, non esiste una suddivisione unificata ma coesistono differenti classificazioni in base alla temperatura come riportato nella seguente tabella 1:

Classificazione delle risorse geotermiche in base alla temperatura (°C)				
	a	b	c	d
<i>Bassa entalpia</i>	<90	<125	<100	<=150
<i>Media Entalpia</i>	90-150	125-225	100-200	*
<i>Alta entalpia</i>	>150	>225	>200	>150

Tabella 1

- a. Classificazione Muffler e Cataldi (1978)
- b. Classificazione Hochstein (1990)
- c. Classificazione Benderitter e Cormy (1990)
- d. Classificazione Nicholson (1993)

2.2 Situazione in Italia

L'Italia può essere considerata di fatto uno dei paesi simbolo nel campo dell'utilizzazione dell'energia geotermica. Nell'area di Larderello, in Toscana, nel 1904 è stato costruito il primo impianto geotermoelettrico della storia che ci ha permesso di ricoprire un ruolo fondamentale nel processo di innovazione e sviluppo di questa tecnologia.

Le aree più rilevanti in termini di contenuto energetico si trovano nella Regione Toscana, la quale vede attualmente la presenza di 35 centrali geotermoelettriche, tutte gestite da *Enel Green Power*.

Altre zone rilevanti per le abbondanti risorse geotermiche si trovano in [3]:

- Veneto, soprattutto nell'area dei Colli Euganei;
- Friuli-Venezia Giulia, nella zona attorno a Grado;
- Emilia-Romagna, nella zona di Casaglia (dorsale ferrarese);
- Campania, nei dintorni di Napoli, tra i Campi Flegrei e l'Isola di Ischia;
- Sicilia, ad Alcamo, Isole Eolie e Pantelleria.

Tutti i siti esterni alla regione Toscana, però, hanno una rilevanza assoluta molto bassa in quanto sono poco o addirittura non sfruttati nonostante la loro potenziale produttività.

Quando si parla di rinnovabili, in Italia, la geotermia (intesa come lo sfruttamento dell'energia geotermica per produzione di elettricità o per la climatizzazione degli edifici) è una tecnologia attualmente molto trascurata. Dai dati raccolti dall'Unione Geotermica Italiana, in nostro Paese presenta una potenza installata pari 1100 megawatt, ricavando circa 6 terawattora all'anno. Il contributo della geotermia al totale generato rispetto alle altre rinnovabili è pari al 3,5%, 5,4% per quanto riguarda la produzione elettrica e pari al 2% in termini di energia termica.

Della totale potenza installata circa 900 megawatt corrisponde allo sfruttamento per produrre energia elettrica e circa 200 megawatt derivano dall'uso diretto della geotermia per riscaldamento urbano, termalismo, usi terapeutici e serre di coltivazione.

Contrariamente a quello che l'attuale produzione potrebbe indurre a pensare, il potenziale di energia geotermica estraibile se ne discosta molto. L'Italia, infatti, presenta un potenziale di energia geotermica estraibile, calcolato considerando la disponibilità nella fascia più superficiale (entro i 5 km di profondità), stimato tra i 5800 e i 116.000 terawattora, di gran lunga superiore al fabbisogno annuo nazionale, che attualmente si attesta su 300 terawattora [3].

3. IMPIANTI A POMPA DI CALORE

Abstract: in questo capitolo vengono descritti i meccanismi di funzionamento delle pompe di calore; successivamente si presentano gli indici di prestazione, le sorgenti di calore e le possibili fonti di energia elettrica con cui le pompe di calore possono essere alimentate.

3.1 Spiegazione generale

Negli ultimi anni l'innovazione energetica civile si sta orientando sempre di più verso l'utilizzo di sistemi che, con minori consumi, riescano a sfruttare fonti di energia rinnovabile in modo efficace ed efficiente.

In modo più specifico, l'attenzione è rivolta verso sistemi con pompa di calore costituiti da una macchina termica in grado di estrarre calore da una sorgente a bassa temperatura e respingerlo verso una sorgente "dissipatrice" a temperatura più alta, mediante l'assorbimento di energia elettrica.

Tramite la pompa di calore è possibile riscaldare edifici e produrre acqua calda sanitaria. In presenza di pompe di calore reversibili, utilizzando l'invertibilità del ciclo, è possibile garantire anche il raffrescamento.

Come rappresentato nella *figura 2* (schema funzionale) ed in *figura 3* (diagramma T-S relativo alle trasformazioni del fluido refrigerante) [4], tramite il compressore, il fluido refrigerante viene aspirato dall'evaporatore, compresso (1-2) e fatto passare attraverso il condensatore (2-3) nel quale avviene la condensazione ad alta pressione con il conseguente rilascio di calore (q_s) all'ambiente. Successivamente è presente una valvola di laminazione che, espandendolo (3-4), lo fa ritornare allo stato liquido. Infine, l'evaporatore in cui il fluido evapora, abbassa la pressione (4-1), assorbendo calore (q_i) dall'ambiente.

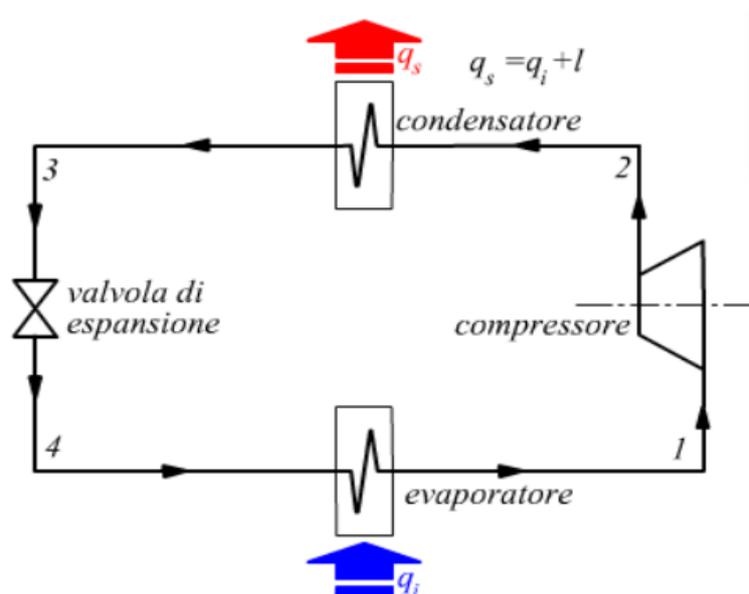


Figura 2 (Ciclo frigorifero con componenti meccaniche) [4]

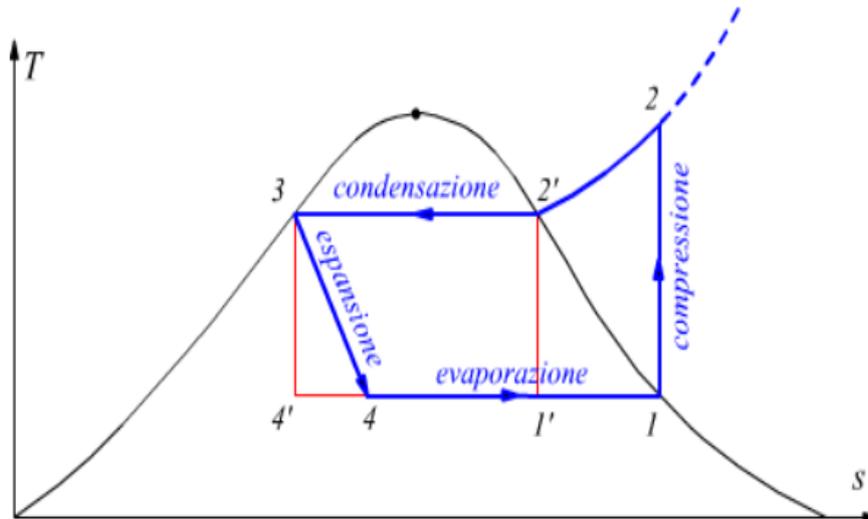


Figura 3 (Diagramma T-S del fluido frigorifero) [4]

3.2 Indici di prestazione

L'efficienza della pompa di calore è espressa mediante il COP (coefficiente di effetto utile), definito come il rapporto tra l'effetto desiderato ed il lavoro immesso nella macchina. Maggiore è questo parametro, più la pompa di calore lavora in modo efficiente. In molti casi, la pompa di calore è reversibile, cioè consente di invertire il senso di circolazione del fluido e quindi l'inversione del flusso di calore, dotandola così della possibilità di funzionare in fase di riscaldamento o di raffreddamento. Durante il funzionamento di riscaldamento, il coefficiente di effetto utile è definito da:

$$COP = \frac{Q_s}{l} = \frac{Q_i + l}{l} \leq \frac{T_c}{T_c - T_f}$$

Mentre nel caso del raffreddamento, il coefficiente d'effetto utile è definito EER:

$$EER = \frac{Q_i}{l} \leq \frac{T_f}{T_c - T_f}$$

In cui:

- l : potenza elettrica assorbita
- Q_i : energia termica sottratta alla sorgente fredda
- Q_s : potenza termica fornita all'utenza o rilasciata all'esterno

3.3 Sorgenti di calore

Per alimentare lo scambiatore esterno all'edificio è possibile utilizzare varie fonti:

- Aria esterna: l'utilizzo dell'aria esterna rappresenta la soluzione più comune; presenta però lo svantaggio di diminuire sensibilmente l'efficienza della pompa di calore nel caso in cui l'aria raggiunga temperature prossime allo zero.
- Acque di superficie: come nel caso precedente, presentano lo svantaggio di diminuire sensibilmente l'efficienza nel caso in cui l'acqua raggiunga temperature prossime allo zero.

- Terreno e falde sotterranee: il terreno e le falde possono cedere il calore assorbito dai fenomeni geotermici o atmosferici (a seconda della profondità) e rappresentare inoltre una fonte di dispersione di energia termica.

3.4 Fonti di alimentazione elettrica

Per il funzionamento del compressore e dei componenti ausiliari, quali ventilatori o pompe di circolazione, è necessaria un'alimentazione elettrica. Quest'ultima può essere fornita tramite:

- rete elettrica: fornisce continuità nella fornitura ed il collegamento risulta di semplice realizzazione;
- impianto solare fotovoltaico: garantisce una maggiore (o totale) indipendenza dalla rete elettrica, diminuendo i costi in bolletta. Questa tipologia d'impianto è, però, soggetta ai vincoli di discontinuità nella produzione legata alla presenza di irraggiamento solare sufficiente, ed alla disponibilità di superficie idonea all'installazione dei pannelli fotovoltaici.
E' consigliabile dotare l'impianto di batterie d'accumulo, le quali possano soddisfare la continuità di fornitura durante la notte o nei casi in cui la produzione elettrica dell'impianto non riesca a sopperire ai picchi di richiesta; anche in presenza di accumulo, nella maggior parte dei casi, non è possibile rendere l'edificio autonomo nei mesi più freddi, essendoci solitamente una richiesta elettrica superiore alla produzione dell'impianto fotovoltaico, in quale non gode dell'irraggiamento solare sufficiente.

La soluzione che più ottimizza i consumi è rappresentata da una combinazione delle due opzioni, preferendo l'installazione di un accumulo a batteria ed utilizzando la rete elettrica solamente nei casi in cui l'energia auto prodotta non sia sufficiente.

4. POMPE DI CALORE GEOTERMICHE

Abstract: In questo capitolo vengono descritte le due tipologie di circuito (aperto e chiuso) e successivamente vengono presentate le varie configurazioni con le relative caratteristiche tecniche. Successivamente è presentato uno schema funzionale con la spiegazione dei singoli elementi che lo compongono.

Il contenuto termico del sottosuolo, utilizzabile dagli scambiatori delle pompe geotermiche, può provenire da fonti esterne o interne allo stesso:

- le fonti esterne sono rappresentate dal sole e dalle precipitazioni, i quali condizionano la temperatura del suolo raggiungendo una profondità di massima circa 15 metri [5];
- la fonte interna è rappresentata dal nucleo terrestre che condiziona la temperatura della crosta terrestre fino ad una profondità di circa 20 metri.

La zona intermedia subisce, in minor quantità, il contributo di entrambe le tipologie di fonti.

Sotto i 20 m di profondità la temperatura del suolo aumenta in media di 3°C ogni 100 m; di conseguenza, con la profondità aumenta la resa termica delle sonde.

Lo sfruttamento tramite pompa di calore dell'energia geotermica a bassa entalpia dà la possibilità di sopperire a:

1. riscaldamento e produzione di ACS: le pompe di calore, assorbendo energia termica dal sottosuolo forniscono in output energia termica a temperature superiori in grado di scaldare l'acqua calda sanitaria e fornire ai terminali dell'impianto l'energia termica necessaria riscaldare l'edificio;
2. raffrescamento: le pompe di calore, invertendo il ciclo, permettono di sottrarre calore dell'edificio e di cederlo al sottosuolo.

Le pompe di calore geotermiche (GSHP) possono essere suddivise in due macrocategorie a seconda del metodo utilizzato per scambiare calore con il sottosuolo:

- a ciclo aperto: il ciclo scambia calore con acqua di falda che viene prelevata e successivamente reimessa nel sottosuolo;
- a ciclo chiuso: la pompa di calore scambia energia termica con il terreno per mezzo di un fluido intermedio che viene fatto circolare all'interno di sonde inserite nel terreno.

4.1 Impianti a ciclo aperto

Gli impianti a ciclo aperto offrono la possibilità di poter utilizzare falde acquifere non utilizzabili per scopi sanitari, ma che comunque offrono una temperatura costante durante tutto l'anno a circa 8-12°C [5].

Nonostante questa tipologia di impianto risulti più efficiente e semplice da realizzare, è utilizzabile solo nei casi in cui sia presente una falda acquifera con un livello stabile e senza infiltrazioni d'acqua superficiale, la quale potrebbe far variare sensibilmente la temperatura della falda e compromettere le prestazioni della pompa di calore. Inoltre, le normative in materia sono molto rigide.

Preliminarmente è necessario considerare la possibile eccessiva presenza di ferro e manganese che potrebbero ostruire gli scambiatori di calore o altri elementi che, in concentrazione elevata, possono portare alla corrosione dei componenti d'impianto.

Questa tipologia di impianti si suddivide in due categorie a seconda del sistema di prelievo:

- Sistemi a pozzo singolo: l'acqua di falda prelevata tramite il pozzo di pescaggio; dopo l'utilizzo, viene reimessa in ambiente utilizzando acque superficiali (laghi, corsi d'acqua, mare) o attraverso la rete fognaria per le acque piovane;

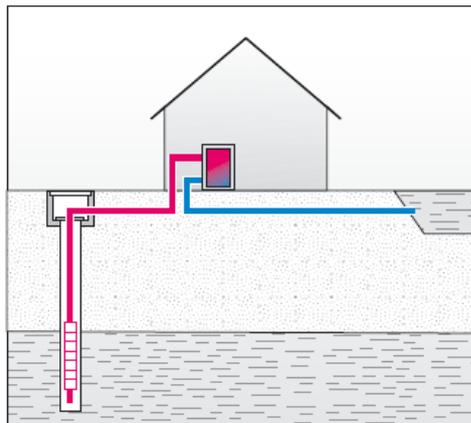


Figura 4 (Rappresentazione schematica di un impianto geotermico a ciclo aperto con pozzo singolo) [5]

- Sistemi a due pozzi: l'acqua di falda prelevata tramite il pozzo di pescaggio, dopo l'utilizzo, viene reiniettata nella falda tramite un secondo pozzo, detto "pozzo di drenaggio". In questo caso va preso in considerazione la possibile corto circuitazione dei flussi in entrata ed in uscita; è quindi necessario installare i due pozzi con una distanza minima indicata di 10 m ed in caso la falda presenti un flusso, il pozzo di pescaggio va posizionato a monte rispetto al pozzo di drenaggio.

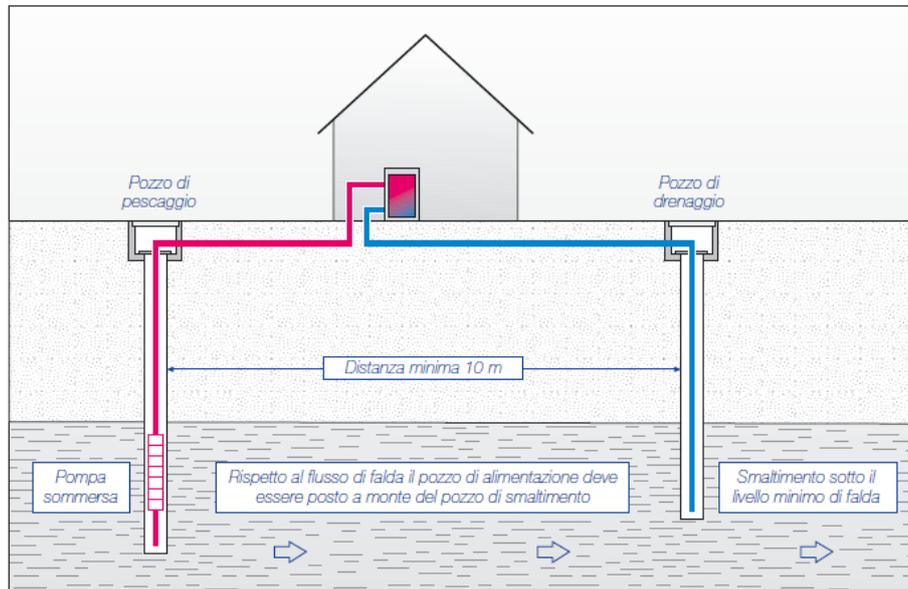


Figura 5 (Rappresentazione schematica di un impianto geotermico a ciclo aperto con due pozzi) [5]

4.2 Impianti a ciclo chiuso

Gli impianti a ciclo chiuso utilizzano, come sistema di scambio termico con il terreno, un circuito di tubazioni che scambia solamente calore con il sottosuolo, in cui viene fatto circolare un fluido termovettore composto solitamente da acqua e antigelo.

La versatilità e la varietà di configurazioni installabili per le varie esigenze, rende gli impianti con pompa di calore a ciclo chiuso i più utilizzati e sviluppati in ambito civile.

Tutti gli impianti appartenenti a questa tipologia presentano degli scambiatori a circuito chiuso che permettono lo scambio di energia termica tra la pompa di calore ed il terreno. In primo luogo, è possibile classificarli in base alla profondità massima alla quale vengono installate le sonde, in quanto essa ne determina il funzionamento, le caratteristiche e conseguentemente la tipologia di carichi cui possono sopprimere:

- impianti con scambiatori a bassa profondità;
- impianti con scambiatori a media profondità;
- impianti con scambiatori ad alta profondità.

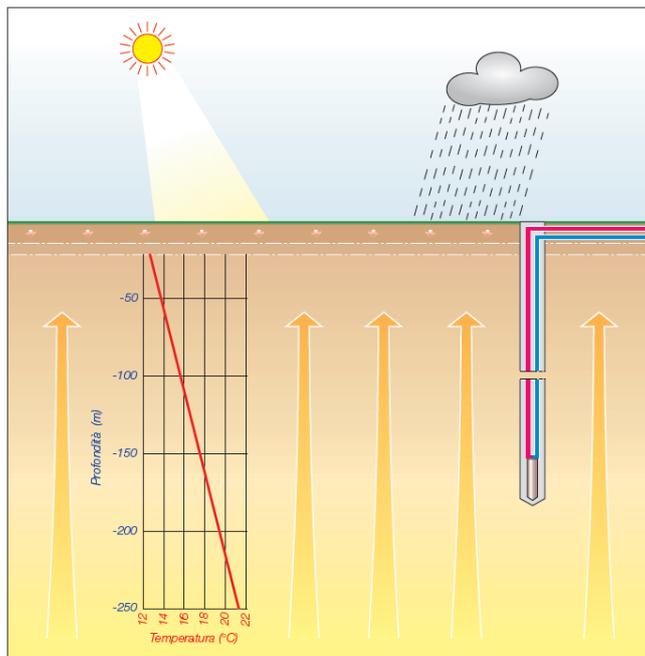


Figura 6 (Andamento della temperatura del terreno in relazione alla profondità) [5]

4.2.1 Scambiatori a bassa profondità

Questa tipologia di impianti presenta degli scambiatori costituiti da tubi in materiale plastico installati ad una profondità compresa tra 0,8 e 4 m.

Gli scavi necessari all'installazione degli scambiatori possono essere considerati analoghi a quelli per le fondamenta degli edifici residenziali. Questo aspetto comporta vantaggi ambientali in quanto non sono necessari scavi invasivi, vantaggi di costo grazie alla semplificazione delle modalità di scavo ed installazione, vantaggi burocratici in quanto non sono necessarie particolari autorizzazioni per la realizzazione.

In base alle geometrie degli scambiatori esterni, gli impianti sono classificati in [5]:

- impianti con scambiatori a serpentine o a chiocciola (da 0,8 a 2 m);
- impianti con scambiatori ad anelli (da 0,8 a 2 m);
- impianti con scambiatori a spirale (da 1 a 2,5 m);
- impianti con scambiatori a canestri (circa 1,5 m).

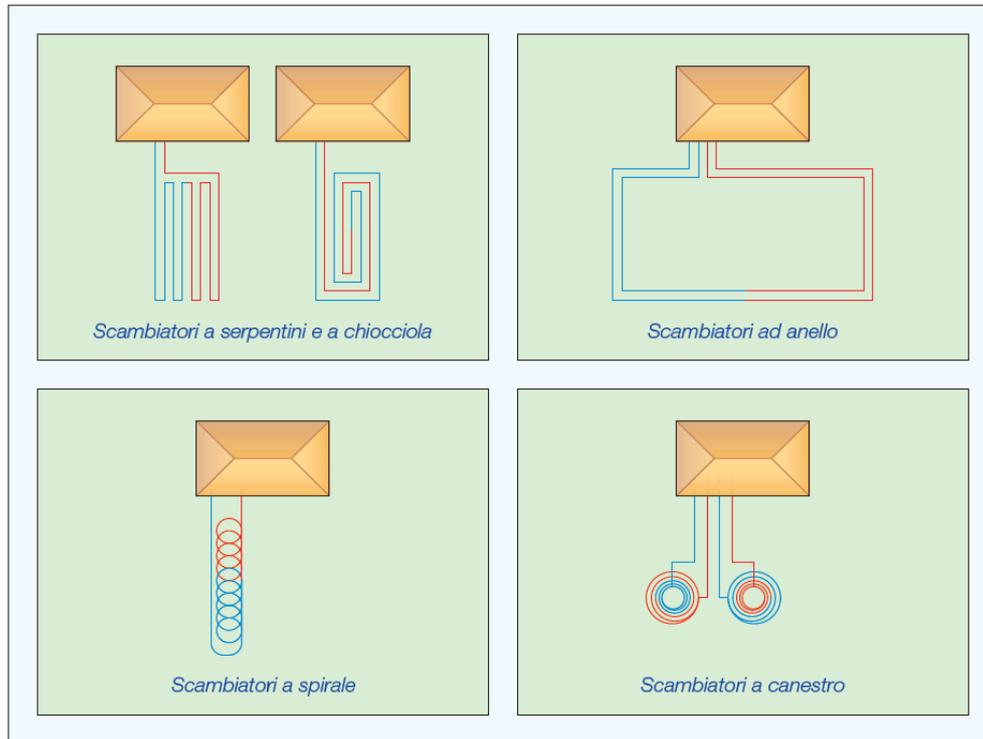


Figura 7 (Rappresentazioni schematiche delle varie tipologie di scambiatori a bassa profondità) [5]

La bassa profondità di questo tipo di scambiatori ne implica la forte dipendenza dai fenomeni esterni al suolo, scambiando calore con lo strato influenzato solamente dalle fonti esterne. A questo riguardo, risulta necessario adottare diversi accorgimenti per adattare lo scambio termico alla variabilità di queste ultime. Per quanto riguarda il posizionamento degli scambiatori, è necessario considerare i seguenti aspetti:

- la natura del terreno, in quanto la superficie di contatto con i tubi poi modificare considerevolmente la resa dell'impianto;
- le zone d'ombra, sia statica che variabile durante il giorno, in quanto priverebbe il terreno di un'importante percentuale di flusso termico proveniente dall'irraggiamento solare;
- la vegetazione esistente da conservare o la vegetazione che si prevede di piantumare, in quanto quest'ultima può modificare la natura del terreno e aumentare le zone d'ombra.

La forte dipendenza di resa rispetto ai fenomeni esterni alla crosta terrestre ne implica inevitabilmente la richiesta di superfici estese per garantirne uno scambio di calore sufficiente durante i periodi di tempo più "gravosi". L'insieme di questi fenomeni li rende idonei solamente ad applicazioni con impianti medio piccoli.

4.2.2 Scambiatori a media profondità

Questo tipo di impianti presenta scambiatori di calore costituiti da tubi metallici o di polietilene, i quali raggiungono profondità massime di 25-30 m.

Gli impianti con questa tipologia di sonda si suddividono in due gruppi in base alla geometria costruttiva e alla modalità d'installazione delle stesse:

- a) impianti con sonde coassiali;
- b) impianti a tubi annegati nei pali di fondazione.

Sonde coassiali

Le sonde coassiali (fig.1) sono costituite da due tubi di diverso diametro inseriti uno dentro all'altro. Nell'intercapedine tra i due tubi viene fatto circolare il fluido termovettore proveniente dalla pompa di calore, il quale scambia calore con il terreno e, nel punto più profondo, entra nel tubo dal diametro più piccolo per poi essere convogliato nuovamente verso la pompa di calore.

Tubi annegati nei pali di fondazione

Questa particolare tipologia di scambiatori è utilizzabile nel caso in cui siano presenti i pali di fondazione, i quali vengono utilizzati nei casi in cui le normali fondamenta non possano garantire la stabilità e la sicurezza dell'edificio a causa della natura del terreno, in particolare quando quest'ultimo non sia in grado di sopportare il carico dell'edificio oppure nei casi in cui è caratterizzato da fenomeni sismici o di altra natura (per es. allagamenti stagionali, zone paludose, frane) che potrebbero modificarne le caratteristiche.

I pali di fondazione sono quindi fondamenta più profonde. In questo caso le sonde geotermiche sono costituite da tubi con geometria ad "U" o a spirale in cui viene fatto circolare il fluido termovettore, i quali vengono inseriti all'interno dei pali di fondazione e successivamente collegati alla pompa di calore.

Questo metodo di messa in opera rappresenta una tecnologia semplice e poco costosa in quanto non richiede la perforazione del terreno appositamente per l'impianto geotermico, semplificando di conseguenza anche le autorizzazioni burocratiche necessarie alla loro realizzazione.

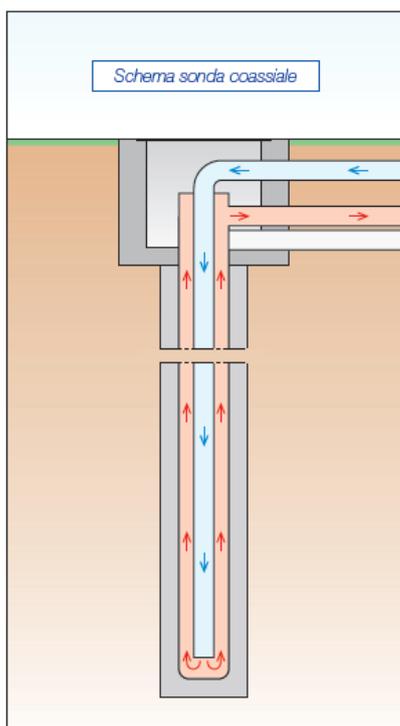


Figura 8 (Schema circuitale di una sonda coassiale) [5]

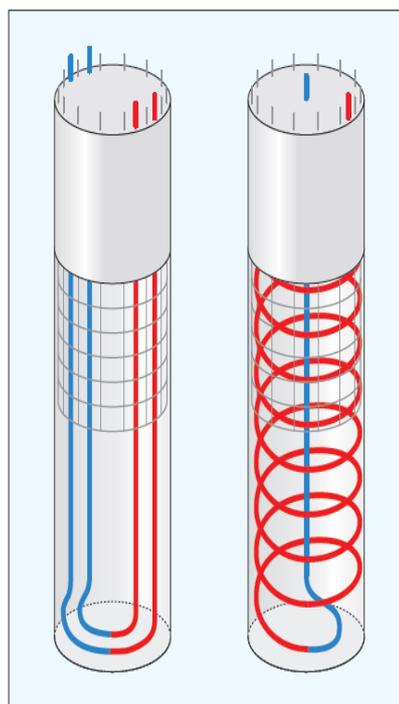


Figura 9 (Disposizione delle sonde geotermiche all'interno dei pali di fondazione) [5]

Le rese termiche degli impianti che sfruttano questa tipologia di sonde possono considerarsi uguali a quelle degli impianti che operano con sonde ad alta profondità. Inoltre rappresentano una valida alternativa rispetto alle altre due tipologie, in virtù del fatto che non necessitano di superfici estese (come nel caso degli impianti a bassa profondità) o di profondità molto elevate (come nel caso degli impianti ad alta profondità).

4.2.3 Scambiatori ad alta profondità

Questa tipologia di impianti utilizza delle sonde geotermiche costituite da tubi posti in verticale che raggiungono una profondità di 100 - 200 m, in cui vengono inseriti uno o due circuiti ad “U” nei quali circola il fluido termovettore.

Queste sonde sono realizzate in PE-Xa, materiale specifico per questo tipo di applicazioni, in quanto le profondità a cui sono poste sottopongono le sonde ad elevate pressioni interne ed esterne.

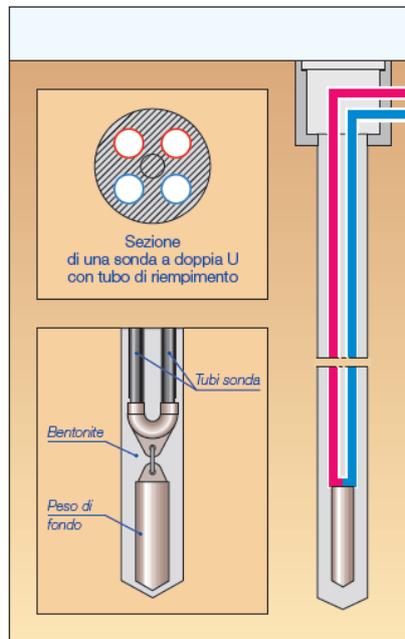
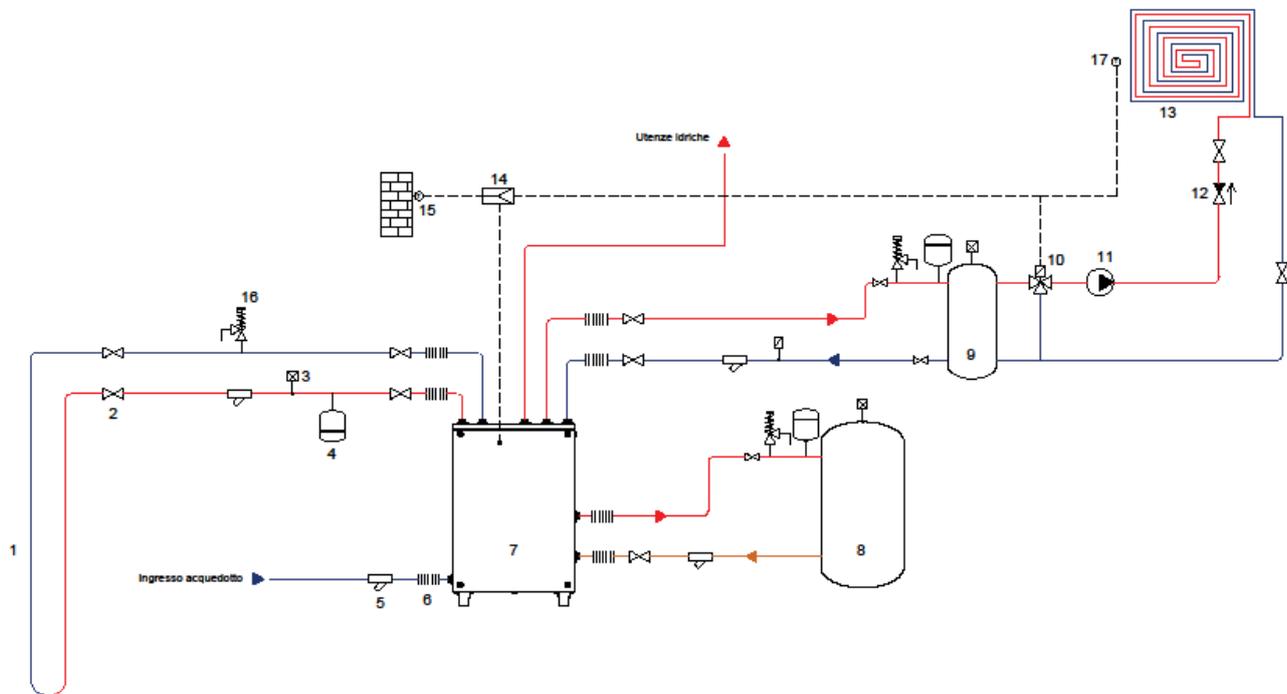


Figura 10 (Schema costruttivo di una sonda ad alta profondità) [5]

4.3 Schema funzionale

Nel seguente schema è rappresentato un impianto con pompa di calore geotermica a circuito chiuso. Questa configurazione è in grado di riscaldare/raffrescare gli ambienti e produrre acqua calda sanitaria.



Legenda

- 1) Sonde geotermiche
- 2) Valvola a saracinesca
- 3) Sfogo Daria automatico
- 4) Vaso d'espansione
- 5) Filtro meccanico addio Y
- 6) Giunto antivibrante
- 7) Pompa di calore
- 8) Serbatoio acqua calda sanitaria
- 9) Serbatoio inerziale
- 10) Valvola a tre vie con controllo automatico
- 11) Pompa di circolazione per terminali in ambiente
- 12) Valvola di non ritorno
- 13) Pannelli radianti
- 14) Centralina
- 15) Sonda di temperatura esterna
- 16) Valvola di massima pressione

4.3 Componenti

Valvola a saracinesca: permette di intercettare parti di impianto che necessitano chiusure temporanee o sostituzioni nel tempo.

Sfogo d'aria automatico: permette la fuoriuscita automatica dell'aria che si crea naturalmente all'interno dell'impianto a causa delle variazioni di temperatura.

Vaso d'espansione: permette di attutire le brusche variazioni di pressione all'interno dell'impianto salvaguardando i componenti attraverso una membrana elastica interna.

Filtro meccanico ad y: permettere la rimozione di piccole impurità che si creano durante il funzionamento dell'impianto.

Giunto antivibrante: interrompe la trasmissione delle vibrazioni, causate dagli organi in movimento, dalla pompa di calore al resto dell'impianto.

Serbatoio acqua calda sanitaria: rappresenta un accumulo di acqua calda sanitaria garantendo la copertura costante della richiesta delle varie utenze.

Serbatoio inerziale: permette di ottimizzarne la resa della pompa di calore, limitando i cicli di accensione e spegnimento che ne condizionano l'aspettativa di vita nonché il rendimento

Valvola a tre vie con controllo automatico: permette la regolazione automatica della temperatura dell'acqua che fluisce nel circuito dei terminali in ambiente a seconda della temperatura interna richiesta ed esterna.

Pompa di circolazione per i terminali in ambiente: permette la circolazione dell'acqua che va a servire i terminali.

Valvola di non ritorno: permette il passaggio dell'acqua solo in un verso, impedendone la circolazione nel verso opposto; è utile per salvaguardare la pompa di circolazione.

Centralina: riceve gli output dalle varie sonde e regola automaticamente il funzionamento dei vari organi di impianto che da essa dipendono.

Sonda di temperatura esterna: posta esternamente all'edificio, misura la temperatura dell'ambiente esterno. È collegata direttamente alla centralina.

Valvola di massima pressione: protegge la pompa e gli altri componenti sensibili dell'impianto dai bruschi aumenti di pressione.

5. CONFRONTO ECONOMICO-AMBIENTALE

Abstract: in questo capitolo viene confrontata dapprima qualitativamente la pompa di calore geotermica con le pompe di calore ad aria e le caldaie a gas; successivamente vengono presentate numericamente le prestazioni delle pompe di calore geotermiche; si procede poi con un confronto di prestazioni, emissioni equivalenti e costi tra la pompa di calore geotermica, una pompa di calore ad aria, una caldaia a condensazione ed un sistema ibrido. Si presenta un'analisi di convenienza ed impatto ambientale ed infine si riassumono i risultati raggiunti durante i confronti numerici ed una relativa analisi critica.

5.1 Confronto tra impianti a pompa di calore e sistemi tradizionali

Le esigenze di manutenzione proprie della pompa di calore sono estremamente ridotte in quanto a differenza dei convenzionali impianti di riscaldamento (caldaie), non necessitano di pulizie o verifiche del rendimento periodiche. Inoltre non utilizzando processi di combustione, risultano più sicure in caso di guasto.

La durata media di un impianto a pompa di calore può essere ritenuta molto simile a quella degli impianti tradizionali, attorno ai 15 anni.

Contrariamente ai tradizionali sistemi di riscaldamento, le prestazioni diminuiscono con l'aumentare della differenza di temperatura fra la sorgente fredda ed il fluido caldo; in particolare gli impianti geotermici non sono in grado di operare efficientemente con temperature superiori a 50°C, pertanto nella modalità di funzionamento in riscaldamento, devono essere necessariamente abbinate a terminali a bassa temperatura come pannelli radianti o ventilconvettori.

Le pompe di calore possono offrire, in caso di reversibilità, la possibilità di riscaldare e raffrescare utilizzando un solo dispositivo ed i medesimi terminali. Questo garantisce un minor ingombro all'interno dell'abitazione in quanto la pompa di calore occupa uno spazio mediamente non più grande di un normale frigorifero.

Possono rappresentare un'alternativa a sistemi che sfruttano l'energia solare nei casi in cui siano presenti vincoli architettonici, storici e di rispetto del paesaggio.

Lo svantaggio più rilevante delle pompe di calore può essere rappresentato, in alcuni casi, dal costo di installazione in quanto non tutte le configurazioni sono standardizzate come la tecnologia convenzionale a fonti fossili (ormai consolidata).

Inoltre i tempi di ammortamento risultano mediamente di 5-10 anni, al fine di "pareggiare" la spesa iniziale con il risparmio in bolletta.

Nel caso di pompe di calore che si interfacciano con l'aria esterna, le condizioni di temperatura "estreme" di quest'ultima (soprattutto durante la stagione fredda), ne riducono molto il rendimento e quindi la capacità di soddisfare le esigenze progettuali [6].

5.2 Confronto tra pdc geotermica e pdc ad aria

Tutte le differenti tipologie di pompe di calore sono sistemi convenienti dal punto di vista energetico in quanto, durante il loro funzionamento, consumano meno energia di quella che riescono a produrre.

Gli impianti geotermici a pompa di calore presentano diversi vantaggi rispetto alle tradizionali pompe di calore ad aria, come ad esempio:

- minori consumi di energia primaria per raggiungere lo stesso livello di usi finali dell'energia;
- buone prestazioni energetiche, in particolare durante l'intera stagione di riscaldamento;
- funzionamento silenzioso, dovuto in particolare all'assenza di moduli esterni con ventilatori ed alla possibilità di utilizzare elementi scaldanti molto silenziosi (pannelli radianti).

L'impossibilità di ispezionabilità dell'impianto nella sua interezza successiva al completamento dei lavori, ne costituisce un importante svantaggio. È necessario dunque utilizzare materiali di elevata qualità e resistenza (in relazione alle profondità ed alla tipologia d'impianto), nonché manodopera altamente qualificata, in modo

da evitare il rischio di danneggiamenti, rotture, malfunzionamenti e conseguentemente le esigenze di intervento su questa componente del sistema [6].

5.3 Prestazioni delle pompe di calore geotermiche

Si riportano di seguito i dati reali di COP ed EER al variare della temperatura dell'acqua in uscita, diretta alle utenze [7]:

Modello	KE1 04PX	KE1 05PX	KE1 07PX	KE1 08PX	KE1 10PX	KE1 13PX
T. acqua utenza	12/7 °C					
P. frigorifera (KW)	4,4	5,9	7,6	9,4	11,4	14,1
P. assorbita (KW)	0,70	0,9	1,2	1,6	2,0	2,3
EER	6,57	6,54	6,36	5,88	5,72	6,03
T. acqua utenza	30/35 °C					
P. termica (KW)	3,5	4,7	6,1	7,8	9,9	11,6
P. assorbita (KW)	0,8	1,1	1,4	1,8	2,3	2,7
COP	4,33	4,30	4,34	4,33	4,33	4,36
T. acqua utenza	50/55 °C					
P. termica (KW)	3,4	4,4	5,7	7,2	9,1	10,6
P. assorbita (KW)	1,4	1,7	2,3	2,8	3,5	4,0
COP	2,40	2,57	2,49	2,58	2,62	2,63

Tabella 2 (Caratteristiche e prestazioni pompe di calore geotermiche E.GEO) [7]

Di seguito in grafico che esprime la variazione di COP in relazione della temperatura della “sorgente calda”, relativo ad una pompa di calore geotermica Herz Commotherm 5 [8]:

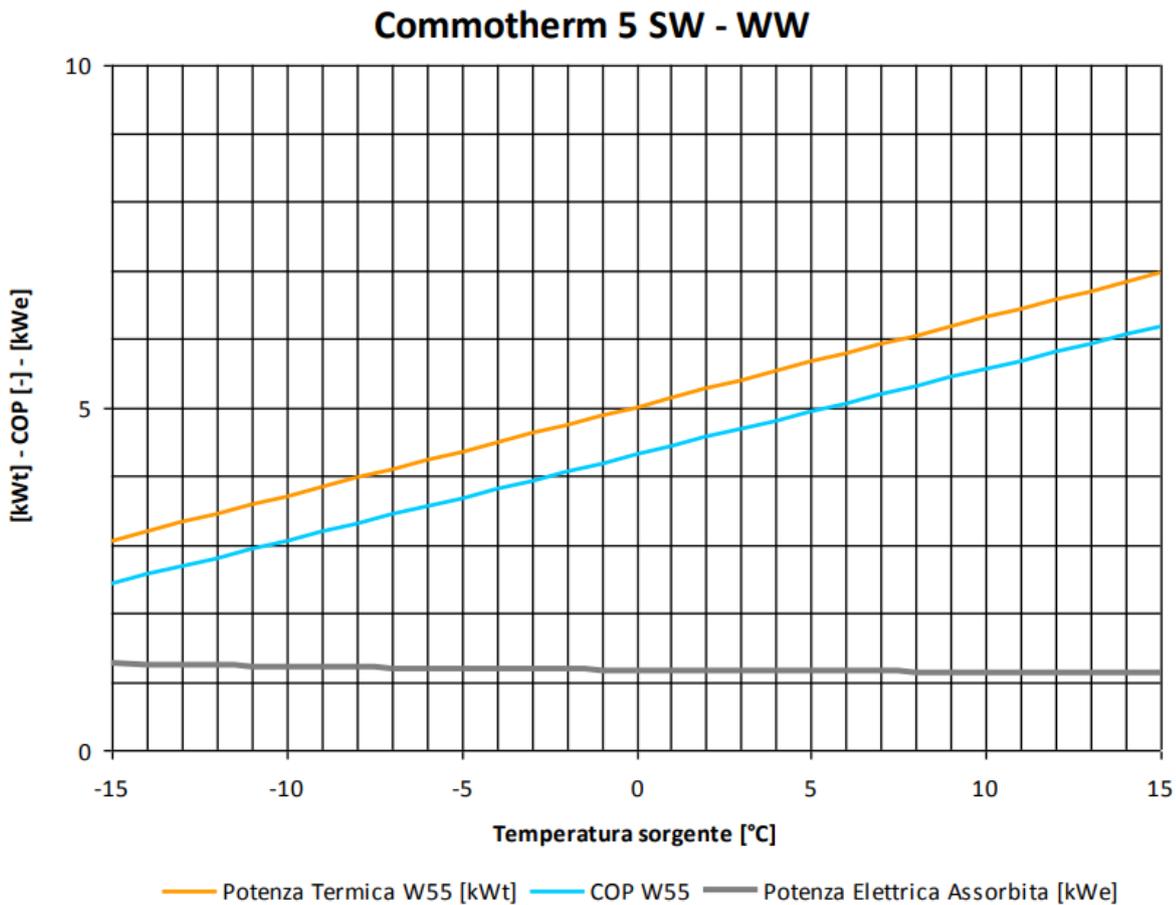


Grafico 1 (Potenza termica, COP e potenza elettrica assorbita di una pompa di calore geotermica Commotherm 5 in relazione alla temperatura della sorgente termica) [8]

5.4 Comparazione di prestazioni energetiche e produzione di CO₂ tra diversi sistemi di climatizzazione

Metodologia di calcolo

Per il confronto prendiamo in considerazione tre tipologie d’impianto:

- Impianto con pompa di calore geotermica
- Impianto di calore con pompa di calore aria-acqua
- Impianto con caldaia a gas + pompa di calore aria-acqua

A questo punto si prende in considerazione un funzionamento con terminali a bassa temperatura, in quanto garantiscono delle alte prestazioni alle pompe di calore, conseguenza diretta di minori differenze di temperatura tra fonte termica ed utenza. La pompa di calore geotermica scelta è rappresentativa di prestazioni medie rispetto alle pompe di calore presenti nei cataloghi dei principali costruttori.

Per il confronto riguardante le emissioni di CO₂ si considera:

- Energia elettrica (da rete elettrica): 352 g CO₂/KWh ([9], riferito ad utenza domestica)

- Gas metano: 1,8 kg CO₂/m³ (considerando un potere calorifico superiore di 38,5 MJ/m³, 1kWh=0,094 m³ di gas metano).

Si considerano due pompe di calore con taglie molto simili ed una caldaia standard di 24Kw (taglia più comune negli impianti residenziali già esistenti)

- Pompa di calore aria-acqua: Mitsubishi PUHZ-W50VHA (5KW) [10]
- Pompa di calore geotermica: E.GEO KE105PX, (4,7 KW) [7]
- Caldaia a condensazione: Schuster 24C (24KW) [11]

Si riportano di seguito le specifiche tecniche delle macchine:

Pdc geotermica	Mod. funzionamento	T. utenza	COP	EER
	Riscaldamento	30/35 °C	4,3	/
	Raffrescamento	12/7 °C	/	6,54

Pdc aria-acqua	Mod. funzionamento	T. esterna	T. utenza	COP	EER
	Riscaldamento	7°C	35°C	4,1	/
		-7°C	35°C	2,96	/
Raffrescamento	35°C	18°C	/	4,13	

Caldaia	Potenza nominale	Utenza riscaldamento	Rendimento
	24KW	30-85°C	89,90%

Per la valutazione dei vari regimi di funzionamento dei tre impianti, si considerano tre diverse situazioni climatiche:

1. mese caldo: temperatura esterna di 35°C;
2. mese freddo: temperatura esterna di 7°C;
3. mese rigido: temperatura esterna di -7°C.

Si confronta in primo luogo le variazioni e le differenze di prestazioni delle due diverse pompe di calore:

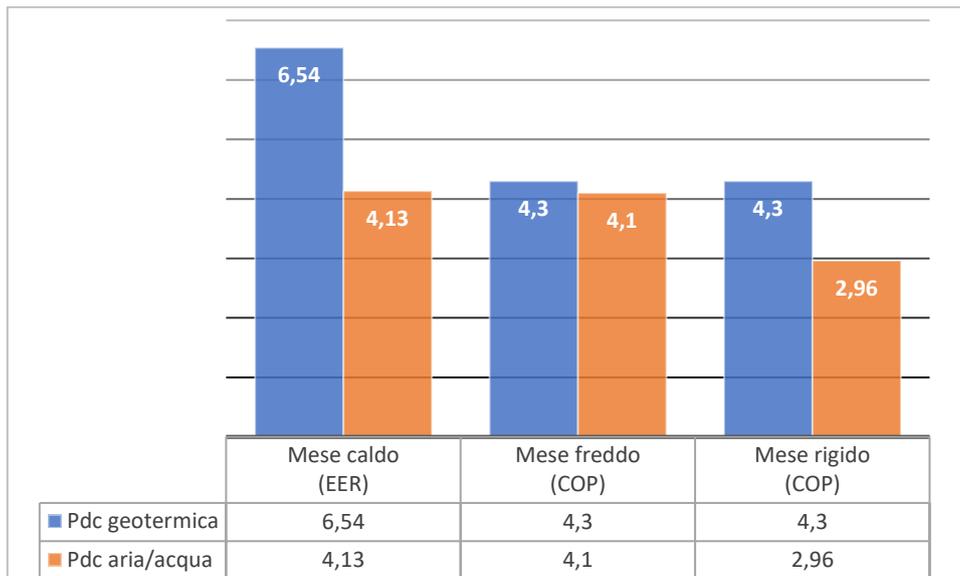


Grafico 2 (Confronto COP pompa di calore geotermica e pompa di calore aria-acqua in relazione a tre diversi periodi di funzionamento)

Si confrontano ora, alle stesse temperature richieste dalle utenze, l'impianto a pompa di calore geotermica e l'impianto "ibrido" (pompa di calore aria-acqua + caldaia a condensazione), in base ai consumi di energia primaria.

Si analizza l'utilizzo dell'impianto ibrido sfruttando la pompa di calore nei mesi in cui offre le prestazioni più elevate e l'intervento della caldaia a gas durante il solo mese freddo.

Per un confronto più realistico si stima di dover sopperire a dei carichi termici simbolici durante i vari mesi:

- Mese caldo: 100 KWh in raffrescamento
- Mese freddo: 100 KWh in riscaldamento
- Mese rigido: 200 KWh in riscaldamento

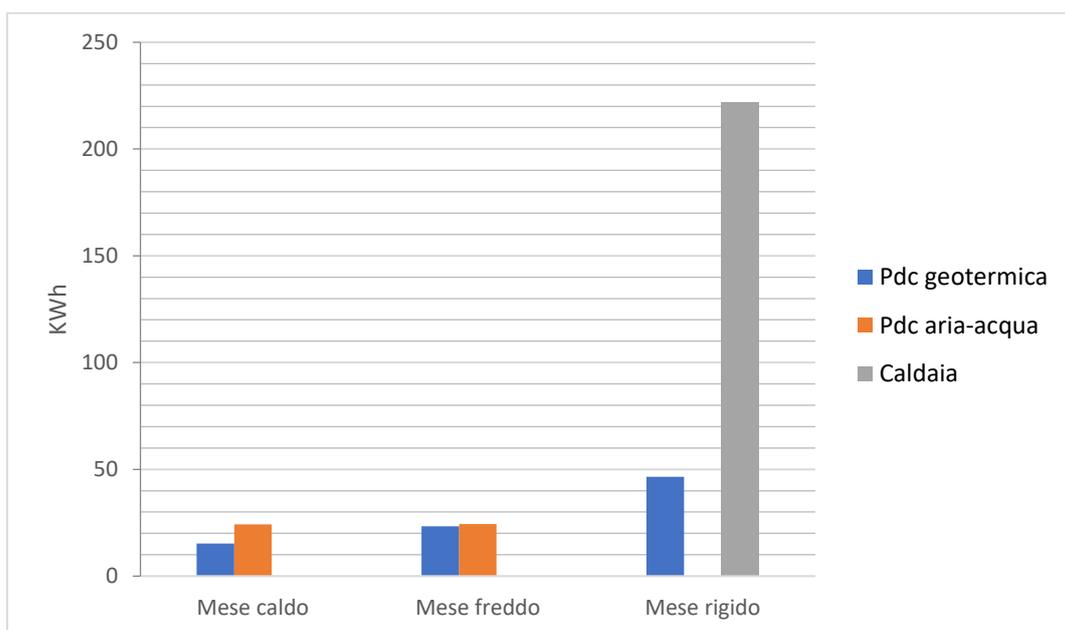


Grafico 3 (confronto di consumi di energia primaria tra pompa di calore geotermica ed impianto ibrido)

Si confrontano ora la produzione equivalente di CO₂ dei vari sistemi con gli indici di conversione presentati all'inizio del paragrafo in base ai consumi:

	KWh consumati			g CO ₂ / KWh
	Mese caldo	Mese freddo	Mese rigido	
Pdc geotermica	15,3	23,3	46,5	352
Pdc aria -acqua	24,2	24,4	67,6	352
Caldaia	0	111,23	222	169

Tabella 3 (Confronto di KWh consumati dalle tre diverse macchine considerate)

	Kg di CO ₂ prodotti			
	Mese caldo	Mese freddo	Mese rigido	Totale
Pdc geotermica	5386	8202	16368	29955
Pdc aria -acqua	8518	8589	23795	40902
Caldaia	0	18798	37518	56316
Sistema ibrido	8518	8589	37518	54625

Tabella 4 (Confronto produzione equivalente di CO₂ relativamente alle diverse tipologie d'impianto)

5.5 Confronto economico

Di seguito si riportano i costi delle varie tipologie d'impianto, in base alla tecnologia utilizzata, e della manutenzione annua (i prezzi si riferiscono a dei costi medi da sostenere per degli impianti a servizio di una villetta di 100 m²) [12]:

Impianto	Costo impianto	Costo manutenzione
Pompa di calore geotermica a sonde verticali	19.500 € - 23.500 €	/
Pompa di calore geotermica a sonde orizzontali	17.700 € - 20.800 €	/
Pompa di calore aria-acqua	14.000 €	/
Sistema ibrido caldaia+pompa di calore aria-acqua	10.000 €	1.500 €/anno

Tabella 4 (Confronto economico tra l'impianto a pompa di calore geotermica nelle due diverse configurazioni di sonde e gli impianti di climatizzazione più utilizzati)

5.6 Applicabilità e convenienza

Da un punto di vista economico la tecnologia geotermica richiede un notevole sforzo iniziale, sia relativamente ai costi dell'impianto, sia per quanto riguarda le spese di perforazione o escavazione del terreno che si devono sostenere nella maggior parte dei casi.

Occorre tener presente che il costo dell'impianto varia sensibilmente in funzione del fabbisogno energetico dell'edificio che a sua volta dipende dalla qualità della costruzione e dal tipo di isolamento termico. I costi di gestione generale sono invece molto contenuti grazie all'elevata efficienza di questi sistemi e delle ridotte esigenze di manutenzione.

Nella valutazione dell'applicabilità e della convenienza, devono essere prese in considerazione [6]:

- la disponibilità di spazio per alloggiare il sistema di scambio di calore con la sorgente geotermica all'interno della proprietà;
- le caratteristiche fisiche del suolo su cui sorge l'edificio;
- la presenza di eventuali vincoli legislativi che impediscono o limitano lo sfruttamento della geotermia, quali vincoli alla perforazione o zone di protezione delle acque sotterranee;
- le esigenze di climatizzazione dell'edificio e, in caso di edifici esistenti da ristrutturare, il tipo di sistema di riscaldamento presente;
- le caratteristiche climatiche del luogo.

Il ricorso a pompe di calore geotermiche risulta di maggiore interesse [6]:

- in zone climatiche che comportano esigenze di riscaldamento degli edifici nel periodo invernale ed esigenze di raffrescamento in quello estivo (in modo da permettere di sfruttare appieno le potenzialità dell'impianto e i conseguenti risparmi energetici ottenibili). Lo sfruttamento delle pompe geotermiche anche per la produzione di acqua calda sanitaria incrementa ulteriormente l'efficienza complessiva e il risparmio energetico fornito dal sistema;
- quando sussistono forti variazioni stagionali di temperatura in quanto nelle condizioni di picco si ha una forte domanda energetica che può essere efficacemente soddisfatta dai sistemi geotermici (a differenza delle pompe di calore ad aria);
- laddove il costo del combustibile utilizzato dagli impianti di riscaldamento convenzionali abbia raggiunto livelli particolarmente elevati mentre il costo dell'energia elettrica sia più contenuto, oppure in località raggiunte dalla rete elettrica ma non da quella del gas naturale.

5.7 Considerazioni ambientali e impatto delle sonde geotermiche sul sottosuolo

In relazione ai sistemi tradizionali, i vantaggi in termini di minor impatto ambientale riguardano i seguenti aspetti [6]:

- non producono inquinamento atmosferico diretto durante il loro funzionamento. Le pompe di calore geotermiche permettono di conseguire importanti risparmi energetici, rispetto ai tradizionali sistemi di riscaldamento e raffreddamento:
 - durante la fase di riscaldamento, riduzioni che vanno dal 30% al 70% del consumo energetico;
 - durante la fase di raffreddamento, riduzioni che vanno dal 20% al 50% del consumo energetico;
- impatto ambientale visivo, in virtù del fatto che i sistemi geotermici non necessitano di moduli esterni o camini per la fuoriuscita di fumi;
- inquinamento del sottosuolo in quanto il fluido termovettore utilizzato all'interno degli scambiatori a contatto con il terreno è generalmente acqua (eventualmente addizionata con antigelo non pericoloso per l'ambiente).

Un punto a sfavore è costituito dalla necessità dell'utilizzo di energia elettrica per il funzionamento della pompa di calore e degli organi ausiliari. È però possibile realizzare impianti combinati che utilizzino altre forme di energie rinnovabili, come per esempio i pannelli fotovoltaici.

Fatta eccezione della necessità di utilizzare energia elettrica, i sistemi con tecnologia a pompa di calore geotermica possono avere impatti ambientali di diversa natura legati allo scambio di calore con il sottosuolo e alla presenza delle sonde geotermiche. L'impatto ambientale riguarda [13]:

- a) anomalie della temperatura del sottosuolo e inquinamento termico. L'uso di questi impianti provoca variazioni di temperatura locali nel terreno. Il loro funzionamento modifica la temperatura del sottosuolo e di conseguenza l'evaporazione dell'acqua, l'ossigeno disciolto e le reazioni chimiche. Tutti questi fenomeni hanno influenze sui microbi e in alcuni casi l'equilibrio ecologico sotterraneo può essere distrutto. Questo tipo di inquinamento termico sotterraneo regionale influenza la concentrazione di microbi e la crescita delle piante; all'aumentare della temperatura del terreno la solubilità dell'ossigeno diminuisce, limitando la crescita delle piante e di importanti microbi (eterotrofi), causandone potenzialmente la morte;

- b) contaminazione correlata alla temperatura. L'uso del sistema a pompa di calore geotermica provoca pennacchi di freddo e di calore nel sottosuolo, che cambiano anche la temperatura delle acque sotterranee e quindi influenzano le proprietà fisiche e chimiche, la concentrazione di microbi e le loro reazioni e interazioni. Questa serie di cambiamenti comporta grandi rischi potenziali per la qualità delle acque sotterranee, specialmente nelle regioni in cui vengono estratte come acqua potabile. La temperatura delle acque sotterranee diminuisce ed aumenta continuamente, queste variazioni di temperatura influiscono sulla degradazione delle sostanze chimiche e sul tasso di crescita di microbi. L'aumento della temperatura dovuto all'utilizzo in raffrescamento, causa l'aumento della temperatura del sottosuolo e accelera la crescita dei batteri nelle acque sotterranee che aumenterà la durezza e la concentrazione chimica di elementi come SO₂, causa di contaminazione dell'acqua sotterranea;
- c) contaminazione correlata alla perforazione e alla stuccatura. Sebbene esistano standard sia per i processi di perforazione che per la stuccatura, i problemi continuano a sorgere a causa di condizioni geologiche specifiche o di operazioni improprie. È possibile, infatti, che il collegamento delle varie falde possa indurre cedimento del terreno ed il sollevamento del suolo. Queste problematiche possono indurre anche la contaminazione tra le varie falde acquifere;
- d) perdita di antigelo. I diversi composti antigelo comunemente usati sono a base di glicole etilenico, glicole propilenico e betaina: la fuoriuscita di questi componenti potrebbe causare una grave contaminazione dell'acqua sotterranea ed alcuni effetti a lungo termine. Oltre ai composti antigelo, i fluidi termovettori utilizzati contengono anche additivi come inibitori di corrosione o biocidi. L'impatto di questi additivi sulla qualità delle acque sotterranee e sull'ambiente ecologico del sottosuolo deve ancora essere ulteriormente studiato.

5.8 Risultati raggiunti

Confronto COP pompe di calore

Partendo dalla definizione di COP (ed EER), si evince una proporzionalità inversa alla differenza di temperatura tra gli ambienti con cui le pompe di calore si interfacciano.

Dal confronto fatto durante il periodo di riscaldamento, si può osservare una notevole differenza tra gli indici di prestazione; la pompa geotermica può vantare la costante temperatura di circa 12°C fornita dal sottosuolo e, lavorando con una temperatura ai terminali di 7-12°C, la minima differenza di temperatura garantisce prestazioni molto elevate e costanti.

Durante il periodo di riscaldamento, la temperatura costante del sottosuolo garantisce al sistema geotermico delle migliori prestazioni energetiche; la similitudine di COP durante il mese freddo è una conseguenza diretta della piccola differenza tra i due salti termici a cui le pompe di calore sono sottoposte.

La differenza tra le prestazioni delle due pompe di calore si può apprezzare particolarmente durante il mese più freddo: la pompa di calore aria-acqua subisce un notevole calo nelle prestazioni a causa delle temperature rigide e del proporzionale aumento della differenza di temperatura tra ambiente esterno ed utenza termica.

Confronto tra pompa di calore geotermica e sistema ibrido

Si può notare, come previsto dall'analisi precedente, un consumo di energia primaria molto simile durante il mese freddo da parte delle due pompe di calore, registrando infatti dei valori molto simili di COP; la stessa analogia con il confronto precedente si può osservare durante il funzionamento in raffrescamento, registrando consumi più alti nella pompa di calore del sistema ibrido, avendo un EER minore a causa del salto termico maggiore a cui è sottoposta.

Durante il mese rigido si comparano i consumi di due sistemi che utilizzano fonti energetiche differenti: la corrente elettrica per la pompa di calore geotermica ed il gas metano per la caldaia. I consumi di energia primaria della pompa di calore geotermica crescono proporzionalmente al carico termico, mentre i consumi del sistema ibrido si innalzano notevolmente all'entrata in funzione della caldaia a gas. La grande differenza

tra i due valori è data dalle diverse tecnologie che vengono utilizzate. Mentre nella pompa di calore con 1 KWh (di energia primaria) è possibile “fornire” ai terminali circa 4 KWh termici, nella caldaia a gas 1 KWh equivalente di gas metano viene convertito in circa 0,9 KWh termici mediante la combustione.

In particolare, si osservano nella pompa geotermica dei consumi in termini di energia primaria:

- minori del 30-36% rispetto la pompa di calore aria-acqua;
- minori del 80% rispetto la caldaia a gas.

Confronto impatto ambientale in CO₂

Dai calcoli effettuati si può notare una differenza sostanziale nella produzione di CO₂ conseguente al funzionamento dei tre diversi tipi d’impianto, in particolare si osserva

- il 30% in meno rispetto alla pompa di calore aria-acqua durante il mese rigido;
- il 36% in meno rispetto alla pompa di calore aria-acqua durante il mese caldo;
- il 56% in meno rispetto alla caldaia durante il mese rigido.

La pompa di calore geotermica risulta il sistema con minor incidenza, sia mensilmente che, di conseguenza, nel totale dei tre diversi periodi di funzionamento. È doveroso inoltre notare una minor richiesta energetica ed una minor produzione equivalente di CO₂ utilizzando la pompa di calore aria-acqua durante tutto l’anno, anziché il sistema ibrido alternando caldaia e pompa di calore.

Confronto economico

Dal confronto economico si può notare che l’impianto con pompa di calore geotermica è nettamente il più costoso relativamente alla spesa iniziale, in particolar modo quello che utilizza sonde geotermiche verticali. Si riscontra però un’assenza di costi di manutenzione per gli impianti a pompa di calore, a differenza dell’impianto con caldaia a gas che richiede una manutenzione obbligatoria.

5.7 Analisi critica dei risultati

Dai risultati raggiunti si può osservare che gli impianti a pompa di calore geotermica presentano complessivamente degli importanti vantaggi in termini di consumi, minor impatto ambientale e convenienza economica.

Si osserva un minor consumo di energia primaria, sia durante il riscaldamento (soprattutto durante i mesi più rigidi), che nel raffrescamento; questo si aggiunge alla stabilità delle prestazioni all’interno delle due tipologie di funzionamento, permettendo di eliminare i picchi di richiesta di energia elettrica e garantendo l’indipendenza dalla temperatura esterna.

La maggior spesa iniziale da sostenere per l’installazione dell’impianto geotermico è giustificata, oltre che dal minor consumo in termini energetici, dalla spesa di manutenzione annua nulla negli anni successivi all’installazione. È da considerarsi quindi il più conveniente relativamente ai costi totali da sostenere durante il ciclo di vita dell’impianto.

L’impatto ambientale diretto in termini di CO₂, altri gas serra ed inquinanti in generale risulta nullo, non presentato alcun tipo di emissione. Inoltre, la produzione di CO₂ equivalente, riconducibile al consumo di energia elettrica, risulta molto minore rispetto agli impianti tradizionali più usati quali pompe di calore ad aria e caldaie a gas. La possibilità di accoppiamento con un impianto fotovoltaico domestico con accumulo può garantire, oltre alla maggior indipendenza energetica, un azzeramento della produzione di CO₂ causata dai consumi di energia elettrica.

6. NORMAZIONE NELLA REGIONE VENETO

Abstract: In questo capitolo si presentano le normative delle varie province della Regione Veneto, includendo le specifiche tecniche ed i procedimenti burocratici necessari alla realizzazione degli impianti a pompa di calore geotermica.

La Regione Veneto con il Piano di Tutela delle Acque approvato con deliberazione del Consiglio Regionale n. 107 del 05 novembre 2009, ha demandato alla Provincia il rilascio dell'autorizzazione per “la realizzazione di sistemi di scambio termico con il sottosuolo che non prevedono movimentazione di acqua di falda”.

Nella seguente lista di regolamenti provinciali non è presente la Provincia di Padova in quanto non possiede attualmente un regolamento che disciplina l'utilizzo della risorsa geotermica.

Per gli scopi delle seguenti linee guida sono definiti i seguenti termini:

- *potenza termica complessiva (Pt)*: potenza di progetto richiesta per il funzionamento di un impianto geotermico nella condizione di esercizio più gravosa;
- *coefficiente di prestazione della pompa di calore (COP)*: è dato dal rapporto fra l'energia fornita sotto forma di calore e l'energia elettrica consumata per produrla (*EER* in funzione raffreddamento);
- *test di risposta termica, Thermal Response (TRT)*: prova sperimentale che verifica le proprietà termofisiche del sottosuolo e della sonda geotermica, permettendo, conseguentemente, di procedere al corretto dimensionamento del sistema di geoscambio;
- *impronta energetica*: differenza tra l'energia ceduta o assorbita dal terreno nell'arco di un anno espressa in termini equivalenti di potenza termica media annua (su 8760 ore) specifica per metro di perforazione (W/m), misurata al netto del flusso geotermico naturale;
- *analisi dell'impronta energetica*: studio, tramite modellazione matematica, per la stima ed analisi dell'impatto dell'impianto di scambio termico sull'assetto termico del sottosuolo interessato dal geoscambio.

4.1 Provincia di Vicenza

Classificazione degli impianti

Gli impianti di geoscambio costituiti da sonde geotermiche verticali sono suddivisi sulla base della potenza termica complessiva della pompa di calore (Pt):

- categoria 1: impianti con $Pt \leq 50Kw$
- categoria 2: impianti con $30Kw < Pt \leq 50Kw$
- categoria 3: impianti con $50Kw < Pt \leq 100Kw$
- categoria 4: impianti con $Pt > 100Kw$

All'interno della categoria 1 sono compresi anche gli impianti costituiti da sonde geotermiche orizzontali e pali energetici, indipendentemente dalla potenza termica complessiva.

Suddivisione territorio provinciale

Ai fini dell'individuazione delle corrette modalità di realizzazione degli impianti di geoscambio sia in termini di efficienza e sicurezza che in termini di tutela ambientale, il territorio provinciale viene suddiviso in “Aree omogenee” sulla base della seguente classificazione:

- aree di pianura, acquifero freatico;
- aree di pianura, acquiferi multistrato;
- aree collinari e montuose;

- aree carsiche;
- aree di massima tutela.

Obblighi e divieti

1. All'interno delle Aree omogenee possono essere realizzati impianti di geoscambio con l'adozione di tecnologie di perforazione come di seguito riassunte:
 - nelle Aree di pianura-acquifero freatico e nelle Aree collinari e montuose, è ammesso l'utilizzo di tecnologie di perforazione di tipo tradizionale, vietando tuttavia l'utilizzo di additivi di perforazione non biodegradabili ad esclusione della bentonite, per il sostegno del perforo;
 - nelle Aree di pianura-acquiferi multistrato, nelle Aree carsiche e nelle Aree di massima tutela degli acquiferi, le perforazioni dovranno prevedere l'utilizzo di rivestimento in fase di avanzamento;
 - ai fini della massima tutela della risorsa idrica, nelle "Aree di massima tutela dei corpi idrici sotterranei destinati alla produzione di acqua potabile" viene fatto divieto di installare sonde geotermiche oltre la profondità del tetto degli acquiferi pregiati.
2. Ai fini della massima tutela della risorsa idrica sotterranea, è vietata la realizzazione di sonde geotermiche verticali nella zona di rispetto di un'opera di approvvigionamento idrico pubblico, sia essa un pozzo che una sorgente.
3. Per gli impianti di categoria 4, con riferimento alla norma UNI 11468 e sulla base di parametri di progetto e quindi dei carichi termici scambiati con il sottosuolo, deve essere elaborata una stima dell'impronta energetica del campo geotermico. Nello specifico dovrà essere prodotta una modellazione del trasporto di calore in falda con metodi adeguati al contesto geologico, la simulazione deve considerare gli effetti per un periodo minimo di 15 anni. La provincia si riserva di chiedere il test di risposta termica e l'analisi dell'impronta energetica sul sottosuolo anche per impianti con potenze termiche inferiori in ragione di particolari condizioni al contorno in termini geologici idrogeologici ed ambientali.
4. È vietata la realizzazione di sistemi geotermici ad espansione diretta, che prevedono l'installazione dell'evaporatore/condensatore della pompa di calore direttamente nel terreno, considerato l'elevato rischio di perdite del liquido refrigerante nel sottosuolo.
5. Il fluido termovettore utilizzato all'interno del circuito di scambio termico dovrà essere costituito da sola acqua o acqua addizionata con glicole atossico di tipo propilenico o polipropilenico biodegradabile.

La tabella seguente riassume le correlazioni tra la zonizzazione di riferimento e le modalità esecutive richieste dal protocollo operativo.

Descrizione	Tipologia di perforazione	Limiti di profondità	Relazione Geologica a seconda della Pt
Pianura-Acquifero freatico	Qualsiasi	NO	Tipo 1/Tipo 2
Pianura-Acquiferi multistrato	Rivestimento in avanzamento	NO	Tipo 1/Tipo 2
Aree collinari e montuose	Qualsiasi	NO	Tipo 1/Tipo 2
Aree carsiche	Rivestimento in avanzamento	NO	Tipo 2
Aree di massima tutela	Rivestimento in avanzamento (fino a profondità consentite)	SI	Tipo 2

Tabella 5 (Suddivisione territoriale della Provincia di Vicenza)

Procedura burocratica

1. Presentare alla Provincia l'apposita richiesta di autorizzazione (allegata al Regolamento); l'autorizzazione viene rilasciata entro il termine di 60 giorni dalla data di ricevimento della domanda presso l'Ufficio Protocollo della Provincia. la richiesta deve essere correlata di:
 - relazione geologica per impianti di categoria 2 e 3 qualora ricadano in aree carsiche o di massima tutela (zone di dolore arancione e rosso);
 - Thermal Response Test (TRT) per impianti di categoria 3 e 4, che consiste nella verifica del dimensionamento dell'impianto effettuata tramite il rilevamento delle proprietà termofisiche di scambio del sottosuolo;
 - stima dell'impronta energetica per impianti di categoria 4.

2. Entro 30 giorni dal termine dei lavori di installazione delle sonde, deve essere presentato alla provincia:
 - il rapporto di corretta esecuzione, redatto da un geologo abilitato, attestante la corretta realizzazione delle sonde geotermiche eseguita secondo le modalità del protocollo operativo. a tale rapporto devono essere allegati i certificati di collaudo delle singole sonde attestanti la regolare circolazione del fluido e la tenuta alla pressione delle tubazioni secondo i parametri di progetto;
 - la dichiarazione di conformità dell'impianto alle norme tecniche di settore (ai sensi del DM n.37 del 22/01/2008);

3. l'inizio dei lavori dovrà essere comunicato entro tre anni dalla data di rilascio dell'autorizzazione, pena la decadenza della stessa.

4.2 Provincia di Belluno

Classificazione degli impianti

Allo scopo di adeguare la documentazione progettuale necessaria impianti già termici sono distinti nelle seguenti categorie in base alla potenza termica complessiva (Pt):

- Categoria A: impianti con $Pt < 35Kw$
- Categoria B: impianti con $Pt \geq 35Kw$

Gli impianti costituiti da collettori orizzontali rientrano nella categoria a indipendentemente dalla potenza termica.

Obblighi e divieti

1. La realizzazione di sonde geotermiche è vietata:
 - a) nelle zone di tutela assoluta e nelle zone di rispetto delle acque superficiali e sotterranee destinate al consumo umano, come definito dal Piano Regionale di Tutela delle Acque, entro un raggio di 200 m dal punto di captazione di acque sotterranee;
 - b) nelle aree soggette a fenomeni di dissesto idrogeologico attivo che possano comportare movimenti del suolo e sottosuolo tali da danneggiare il sistema di scambio geotermico;
 - c) nei siti contaminati per i quali siano superate le CSC (Concentrazioni Soglia di Contaminazione);
 - d) in presenza di falde artesiane.

2. Le perforazioni devono essere realizzate ad una distanza dal confine di proprietà tale da non comportare limitazioni o vincoli all'eventuale legittimo uso termico del sottosuolo da parte dei vicini confinanti e comunque a una distanza non inferiore a 4 m per sonde di profondità pari a 120 m, per

sonde più profonde tale distanza dovrà essere superiore.

Procedura burocratica

1. La domanda di autorizzazione deve essere trasmessa via PEC alla Provincia di Belluno settore ambiente e territorio ed al Comune sede dell'impianto.
2. Alla domanda deve essere allegata una relazione tecnica descrittiva che consenta di definire dettagliatamente le caratteristiche tecniche dell'impianto ed il contesto geologico del sito nonché l'assetto idrogeologico dell'area nella quale sarà realizzato l'impianto stesso. Alla domanda dovrà essere allegata la Valutazione di Incidenza Ambientale.
3. La documentazione trasmessa corredo della domanda di autorizzazione deve contenere tutti gli elementi necessari a dimostrare che la realizzazione dei sistemi di scambio termico virgola in ogni fase costruttiva e di successivo esercizio virgola non costituisca fattore di rischio di inquinamento del suolo e del sottosuolo, né fattore di deterioramento della qualità delle acque sotterranee in rapporto a tutti gli usi legittimi di queste. Si ritiene opportuno che siano descritti anche i presidi ambientali della fase di cantiere, relativi sia alle venute d'acqua, sia ai fanghi di perforazione, sia agli spandimenti accidentali sul suolo di fluidi provenienti dalle macchine operatrici.
4. L'autorizzazione alla realizzazione viene rilasciata entro il termine di 90 giorni dalla data di ricevimento della domanda presso l'Ufficio Protocollo della Provincia.
5. Durante i lavori, ogni 6 m di profondità e ad ogni cambiamento di formazione vanno eseguiti prelievi di campioni rappresentativi dei terreni di risulta attraversati nel corso della prima perforazione. I campioni vanno conservati in idonea in contenitori contrassegnati in modo univoco per un minimo di 60 giorni dalla fine dei lavori per eventuali verifiche da parte dell'ente competente e per la redazione della stratigrafia finale da parte del geologo professionista.
6. Entro 30 giorni dalla conclusione di lavori di installazione dell'impianto geotermico virgola e comunque non oltre un anno dalla autorizzazione alla realizzazione dell'impianto, deve essere trasmessa via pec alla provincia e al comune la seguente documentazione:
 - il certificato inerente alle verifiche di tenuta effettuate sui sistemi di scambio termico
 - il certificato di regolare esecuzione attestante la corretta realizzazione delle perforazioni, della cementazione dei fori e l'isolamento delle eventuali falde idriche attraversate, nonché la rispondenza delle opere e dell'assetto geologico e idrogeologico del sito alle assunzioni di progetto;
 - La cartografia riportante l'ubicazione definitiva di ciascuna sonda

4.3 Provincia di Rovigo

Definizione delle categorie di impianto

Allo scopo di adeguare alla rilevanza dell'impianto che si intende realizzare la documentazione progettuale da presentare in fase di richiesta dell'autorizzazione, gli impianti geotermici con sonde verticali sono distinti in due categorie, a seconda della potenza termica complessiva (Pt):

- a) Impianti di categoria A, con $Pt < 50$ kW;
- b) Impianti di categoria B, con $Pt \geq 50$ kW.

Obblighi e divieti

1. È vietata la realizzazione di sistemi geotermici ad espansione diretta, che prevedano l'installazione dell'evaporatore/condensatore della pompa di calore direttamente nel terreno, considerato l'elevato rischio di perdite del liquido refrigerante nel sottosuolo.
2. Le perforazioni entro le quali saranno alloggiare le sonde geotermiche devono essere eseguite avendo cura di non mettere in comunicazione idraulica le diverse falde attraversate, allo scopo di evitare fenomeni interconnessione incrociata tra di esse.
3. Il fluido di perforazione da impiegare deve essere costituito da una soluzione acquosa di polimeri biodegradabili o bentonite, senza additivi inquinanti.

4. La sommità del foro/anulare di ciascuna sonda deve essere attentamente impermeabilizzata su tutta la superficie, ottenendo un insieme durevole che non sia soggetto ad alterazioni chimiche e fisiche né che possa alterare la qualità dell'acqua sotterranea.
5. Il fluido utilizzato all'interno del circuito di scambio termico deve essere costituito da acqua potabile o da glicole propilenico ad uso alimentare, per ridurre il rischio di contaminazione nel caso in cui dovessero verificarsi fuoriuscite accidentali.
6. Su ogni sonda deve essere eseguita, a cura dell'impresa esecutrice abilitata la prova di tenuta con acqua ad una pressione di 1,5 volte la pressione di esercizio per una durata minima di 4 ore, le sonde che non dovessero superare con esito positivo la prova di tenuta devono essere sigillate con miscele impermeabilizzanti ed abbandonate.

Procedura burocratica

1. La domanda di autorizzazione, redatta secondo lo schema allegato nel Regolamento, deve essere trasmessa all'Area Ambiente della provincia di Rovigo; Voi in allegato devono essere presentate la relazione tecnica descrittiva generale è una relazione geologica, con lo scopo di dimostrare che la realizzazione della sonda virgola in ogni fase costruttiva e di successivo esercizio virgola non costituisca fattore di rischio di inquinamento del suolo, del sottosuolo e delle acque sotterranee.
2. L'autorizzazione alla realizzazione delle sonde geotermiche viene rilasciata entro il termine di 60 giorni dalla data di ricevimento della domanda presso l'Ufficio Protocollo della ;
3. Tutti i dati e le informazioni inerenti le perforazioni effettuate le stratigrafie da essere ricavate, devono essere trasmessi agli uffici della provincia. Se la perforazione dovesse superare la profondità di 30 metri dovrà essere inviata all'ISPRA la documentazione prevista, firmata da geologo abilitato.
4. Entro 30 giorni dalla conclusione di lavori di installazione dell'impianto deve essere inviata alla :
 - il Certificato di regolare esecuzione dell'impianto, attestante la risposta delle opere alle assunzioni di progetto e la descrizione delle eventuali modifiche di modesta entità rese si necessarie in corso d'opera;
 - il Rapporto di corretta perforazione, attestante la corretta realizzazione delle perforazioni, della cementazione dei fori e dell'isolamento delle eventuali falde attraversate, contenente le stratigrafie dei suoli ed i risultati delle verifiche di tenuta effettuate sulle singole sonde;
 - La verifica del dimensionamento dell'impianto tramite il rilevamento delle proprietà termofisiche di scambio del sottosuolo con il Ground Response Test (GRT);
 - Dichiarazione di corretta esecuzione del collaudo finale delle sonde installate.

4.4 Provincia di Venezia

Categorie d'impianto

Allo scopo di adeguare alla rilevanza dell'impianto che si intende realizzare la documentazione progettuale da presentare in fase di richiesta dell'autorizzazione, gli impianti geotermici sono distinti in due categorie, a seconda della potenza termica complessiva (Pt):

- a) categoria 1: impianti con $Pt < 50$ kW;
- b) categoria 2: impianti con Pt pari o superiore a 50 kW.

Gli impianti costituiti da sonde geotermiche orizzontali sono sempre considerati di categoria 1, a prescindere dalla potenza termica complessiva.

Obblighi e divieti

1. La responsabilità delle perforazioni e delle operazioni di messa in opera delle sonde geotermiche è affidata a geologo abilitato.
2. Nel caso di impianti di categoria 2, viene richiesta la preventiva realizzazione di una prova in situ, tramite un test di risposta termica (Ground Response Test), ai fini della verifica delle

- proprietà termofisiche del terreno.
3. Per impianti con potenza termica complessiva pari o superiore a 100 kW, viene inoltre richiesta la presentazione di un'analisi di impatto termico nel sottosuolo.
 4. La Provincia si riserva di chiedere il test di risposta termica e l'analisi di impatto termico nel sottosuolo anche per impianti con potenze termiche inferiori, in ragione di particolari condizioni al contorno.
 5. Le perforazioni entro le quali saranno alloggiare le sonde geotermiche sono eseguite avendo cura di non mettere in comunicazione idraulica le diverse falde attraversate, al fine di evitare fenomeni di interscambio tra di esse.
 6. Durante le operazioni di perforazione è posta particolare attenzione affinché eventuali perdite di liquidi dal cantiere non si infiltrino nel suolo e nel sottosuolo. Ciascun cantiere deve essere dotato di idonei presidi di emergenza per contenere fuoriuscite di liquidi potenzialmente contaminanti.
 7. Il fluido di perforazione da impiegare deve essere acqua o aria. Gli eventuali additivi che possono essere utilizzati devono essere a base di polimeri biodegradabili o bentonite.
 8. Il foro di ciascuna sonda deve essere completamente impermeabilizzato su tutta la sua lunghezza, ottenendo un insieme durevole che non sia soggetto ad alterazioni chimiche e fisiche né che possa alterare la qualità dell'acqua sotterranea con cui si trovasse eventualmente in contatto.
 9. Il fluido utilizzato all'interno del circuito di scambio termico delle sonde deve essere costituito da sola acqua o acqua addizionata con glicole atossico di tipo propilenico o polipropilenico biodegradabile.
 10. Su ogni sonda, dopo l'inserimento nel perforo e prima della cementazione dello stesso, sono eseguite una prova di circolazione idrica e una prova di tenuta in pressione.
 11. Qualora un test di tenuta desse esito negativo, va ricolmata definitivamente e sigillata con miscela cementizia o sostituita.
 12. La realizzazione di sonde geotermiche è vietata:
 - a) all'interno della zona di rispetto di un'opera di approvvigionamento idrico pubblico, sia essa un pozzo che una sorgente
 - b) all'interno delle zone di protezione, così come individuate dal Piano di Tutela delle Acque;
 13. È vietata la realizzazione di sistemi geotermici ad espansione diretta, che prevedono l'installazione dell'evaporatore/condensatore della pompa di calore direttamente nel terreno, considerato l'elevato rischio di perdite del liquido refrigerante nel sottosuolo.
 14. Nel caso di impianti di categoria 2, viene richiesta la preventiva realizzazione di una prova in situ, tramite un test di risposta termica (Ground Response Test), ai fini della verifica delle proprietà termofisiche del terreno.
 15. Per impianti con potenza termica complessiva pari o superiore a 100 kW, viene inoltre richiesta la presentazione di un'analisi di impatto termico nel sottosuolo.
 16. La Provincia si riserva di chiedere il test di risposta termica e l'analisi di impatto termico nel sottosuolo anche per impianti con potenze termiche inferiori, in ragione di particolari condizioni al contorno.

Procedura burocratica

1. La domanda di autorizzazione voi deve essere trasmessa alla provincia di Venezia, unitamente ad una relazione tecnica generale e una relazione geologica;
2. l'autorizzazione alla realizzazione delle sonde geotermiche è rilasciata entro il termine di 45 giorni per impianti di categoria uno e 90 giorni per impianti di categoria due dalla data di ricevimento della domanda;
3. Entro 30 giorni dalla conclusione dei lavori di installazione dell'impianto deve essere inviata alla provincia la seguente documentazione:

- certificato di regolare esecuzione dell'impianto, attestante la rispondenza delle opere alle assunzioni di progetto e la descrizione delle eventuali modifiche di modesta entità resi necessari in corso d'opera;
- rapporto di corretta perforazione, attestante la corretta realizzazione delle perforazioni, della cementazione dei fori e dell'isolamento delle eventuali falde attraversate, contenente i risultati delle verifiche di tenuta effettuate sulle singole sonde;
- relazione sull'esito e delle modalità di esecuzione del collaudo funzionale dell'impianto di scambio termico.

4.5 Provincia Verona

Categorie d'impianto

Ai fini e per gli effetti del presente regolamento, gli impianti geotermici costituiti da sonde geotermiche verticali sono distinti in due categorie, a seconda della potenza termica complessiva (Pt):

- categoria 1: impianti con $Pt < 50 \text{ kW}$
- categoria 2: impianti con $Pt \geq 50 \text{ kW}$

Gli impianti costituiti da sonde geotermiche orizzontali sono sempre considerati di categoria 1, a prescindere dalla potenza termica complessiva.

Obblighi e divieti

1. La responsabilità delle perforazioni e delle operazioni di messa in opera delle sonde geotermiche è del committente che deve affidarsi, anche in fase esecutiva, a idoneo tecnico abilitato ed a geologo abilitato.
2. Le perforazioni entro le quali saranno alloggiare le sonde geotermiche devono essere eseguite avendo cura di non mettere in comunicazione idraulica le diverse falde attraversate, al fine di evitare fenomeni di interscambio.
3. È doveroso porre particolare attenzione affinché eventuali perdite di liquidi dal cantiere non si infiltrino nel sottosuolo. Ciascun cantiere deve essere dotato di idonei presidi di emergenza per contenere fuoriuscite di liquidi potenzialmente contaminanti.
4. Il fluido di perforazione da impiegare deve essere acqua o aria. In caso di utilizzo di additivi, sono preferibili a base di polimeri biodegradabili o bentonite.
5. Il foro di ciascuna sonda deve essere completamente impermeabilizzato su tutta la sua lunghezza, ottenendo un insieme durevole che non sia soggetto ad alterazioni chimiche e fisiche, né che possa alterare la qualità dell'acqua sotterranea con cui si trovasse eventualmente in contatto.
6. Il fluido utilizzato all'interno del circuito di scambio termico delle sonde deve essere costituito da sola acqua o acqua addizionata con glicole atossico di tipo propilenico o polipropilenico biodegradabile.
7. Su ogni sonda, dopo l'inserimento nel perforo e prima della cementazione dello stesso, sono eseguite una prova di circolazione idrica e una prova di tenuta in pressione.
8. Qualora un test di tenuta desse esito negativo, dalla sonda difettosa è estratta l'acqua di riempimento e la stessa va ricolmata definitivamente e sigillata con miscela cementizia o sostituita.
9. La realizzazione di sonde geotermiche è vietata:
 - a. all'interno della zona di rispetto di un'opera di approvvigionamento idrico pubblico (pozzo o sorgente);
 - b. all'interno delle zone di protezione, così come individuate dal Piano di Tutela delle Acque.
10. È vietata la realizzazione di sistemi geotermici ad espansione diretta, che prevedono l'installazione dell'evaporatore/condensatore della pompa di calore direttamente nel terreno, considerato l'elevato rischio di perdite del liquido refrigerante nel sottosuolo.

Procedura burocratica

1. La domanda di autorizzazione va indirizzata alla Regione del Veneto e successivamente alla acquisizione della prova del ricevimento presso la Regione, alla provincia, al Dipartimento Provinciale ARPAV e al Comune con attestazione dell'avvenuto ricevimento da parte della Regione. Alla domanda vanno allegati una relazione tecnica generale e una relazione geologica;
2. gli impianti di categoria due viene richiesta la preventiva realizzazione di un test di risposta termica (GRT) Per la verifica delle proprietà termofisiche del terreno;
3. per impianti con potenza complessiva pari o superiore a 100 kW, oltre quanto previsto al comma precedente, viene richiesta la presentazione di un'analisi d'impatto termico nel sottosuolo;
4. l'autorizzazione è rilasciata entro 60 giorni dalla data di presentazione della domanda;
5. entro 30 giorni dalla conclusione dei lavori di installazione dell'impianto è inviata a Regione, Provincia, Dipartimento Provinciale ARPAV e comune la seguente documentazione:
 - Certificato di regolare esecuzione attestante la rispondenza delle opere alle assunzioni di progetto e la descrizione delle eventuali modifiche di modesta entità rese necessarie in corso d'opera, preventivamente comunicate;
 - Rapporto di corretta perforazione, attestante la corretta realizzazione delle perforazioni, della cementazione dei fori e dell'isolamento delle eventuali falde attraversate, contenente i risultati delle verifiche di tenuta effettuate sulle singole sonde;
 - esito l modalità di esecuzione del collaudo funzionale dell'impianto di scambio termico;

4.7 Provincia di Treviso

Categorie impianto

Allo scopo di adeguare alla rilevanza dell'impianto che si intende realizzare la documentazione progettuale da presentare in fase di richiesta dell'autorizzazione, gli impianti geotermici con sonde verticali sono distinti in due categorie, a seconda della potenza termica complessiva (Pt):

- a) Impianti di categoria A, con Pt inferiore a 30 kW;
- b) Impianti di categoria B, con Pt pari o superiore a 30 kW

Gli impianti costituiti da sonde geotermiche orizzontali sono sempre considerati di categoria A, a prescindere dalla potenza termica complessiva.

Obblighi e divieti

1. La realizzazione di sonde geotermiche è vietata:
 - a) entro un raggio di 100 metri da pozzi o sorgenti adibite a prelievo d'acqua potabile;
 - b) all'interno della zona di rispetto di un'opera di approvvigionamento idrico pubblico (pozzo o sorgente)
2. Le perforazioni entro le quali saranno alloggiare le sonde geotermiche devono essere eseguite avendo cura di non mettere in comunicazione idraulica le diverse falde attraversate, allo scopo di evitare fenomeni di contaminazione incrociata.
3. Durante le operazioni deve essere posta particolare attenzione affinché eventuali perdite di liquidi dal cantiere non si infiltrino nel sottosuolo. Ciascun cantiere deve essere dotato di idonei presidi di emergenza per contenere fuoriuscite di liquidi potenzialmente contaminanti.
4. Il fluido di perforazione deve essere acqua o aria. Possono essere ammessi eventuali additivi a base di polimeri biodegradabili.
5. Il foro di ciascuna sonda deve essere attentamente impermeabilizzato su tutta la sua lunghezza ottenendo un insieme durevole che non sia soggetto ad alterazioni chimiche e fisiche né che possa alterare la qualità dell'acqua sotterranea con cui è eventualmente in contatto.
6. Il fluido utilizzato all'interno del circuito di scambio termico deve essere a basso impatto ambientale, non tossico e preferibilmente biodegradabile, per ridurre il rischio di contaminazione in caso di

fuoriuscite.

7. Su ogni sonda deve essere eseguita, a cura della Direzione Lavori, una prova di tenuta con acqua potabile; le sonde che non dovessero superare con esito positivo la prova devono essere colmate con miscele impermeabilizzanti.

Procedura burocratica

1. La domanda di autorizzazione deve essere inviata alla Provincia di Treviso e in copia al Comune sede dell'impianto. alla domanda deve essere, allegata una relazione descrittiva generale e virgola per i casi previsti, una relazione geologica. Scopo delle relazioni tecniche e descrivere dettagliatamente le caratteristiche tecniche dell'impianto e virgola ove previsto, definire il contesto geologico del sito nonché l'assetto idrogeologico dell'area nella quale sarà realizzato l'impianto stesso;
2. La relazione geologica deve essere presentata unitamente alla relazione generale in tutti i casi in cui la realizzazione delle sonde geotermiche interessi una o più falde acquifere anche se di natura carsica, ovvero si collochino ad una profondità tale da non assicurare un Franco di almeno 2 m rispetto al livello di massima oscillazione della superficie freatica metrica;
3. La documentazione credo della domanda di autorizzazione deve contenere tutti gli elementi necessari a dimostrare che la realizzazione delle sonde virgola in ogni fase costruttiva virgola non costituisca fattore di rischio di inquinamento del suolo e del sottosuolo, né fattore di detrimento conto della qualità delle acque sotterranee;
4. l'autorizzazione alla realizzazione delle sonde geotermiche viene rilasciata entro il termine di 45 giorni dalla data di ricevimento della domanda presso l'Ufficio Protocollo della Provincia;
5. Entro 30 giorni dalla conclusione dei lavori deve essere inviata alla Provincia ed al Comune sede dell'impianto, la seguente documentazione:
 - il certificato di regolare esecuzione, attestante la corretta realizzazione delle perforazioni e della cementazione dei fori eseguita con modalità atte a garantire l'isolamento delle eventuali falde acquifere attraversate, nonché la rispondenza delle opere e del sito alle assunzioni di progetto;
 - il certificato inerente le verifiche di tenuta effettuate sulle sonde, che attesti la regolare circolazione del fluido e la tenuta alla pressione delle tubazioni secondo i parametri di progetto e del presente Regolamento;
 - Fotografia riportante l'ubicazione, particolare riguardo alla distanza delle stesse dai confini di proprietà.

7. CONCLUSIONI

Senza dubbio investire sulla geotermia a bassa entalpia a livello civile può risultare una buona applicazione. La spesa energetica per la climatizzazione in Italia si attesta sull'80% della spesa totale di energia sotto forma di elettricità e combustibili. Gli impianti con pompa di calore geotermica, infatti, sono in grado di utilizzare il terreno come fonte termica (o serbatoio) per la climatizzazione e la produzione di acqua calda sanitaria. La geotermia a bassa entalpia a questo scopo non risulta limitante in termini di disponibilità in quanto le sonde geotermiche utilizzate da queste pompe di calore non necessitano di fluidi caldi come gli impianti per la produzione di energia elettrica, ma utilizzano la temperatura costante del terreno o delle falde acquifere per far funzionare il ciclo della pompa di calore.

Da quanto analizzato nei confronti numerici, l'energia geotermica a bassa entalpia rappresenta inoltre un valido investimento contro l'inquinamento atmosferico, riducendo sostanzialmente i consumi rispetto agli impianti tradizionali e non presentando emissioni dirette di gas serra o altri inquinanti durante il funzionamento.

Le caratteristiche di rendimento risultano pressoché indipendenti dalla taglia della macchina, con valori di COP attorno a 4,3 (con acqua in uscita a 30/35 °C) e valori di EER attorno a 6 (con acqua in uscita a 7/12 °C). I valori di COP si dimezzano (circa 2,5) in caso di produzione di ACS o di utilizzo di terminali ad alta temperatura (50/55 °C).

L'impatto ambientale diretto si identifica soprattutto in ambito microbiologico e chimico a causa delle variazioni di temperatura del suolo. Questi fenomeni, però, risultano rilevanti solamente in prossimità degli scambiatori di calore, interessando un'area circoscritta e, nella maggior parte dei casi, sviluppandosi in profondità verticalmente rispetto all'edificio che ne usufruisce. Tutt'altra circoscrizione si presenta nei casi di impianti a ciclo aperto, in quanto le masse d'acqua (superficiali o sotterranee) a valle dell'impianto, possono subire variazioni termiche anomale considerevoli se il loro volume e la corrente presente non consente un'adeguata dispersione.

L'impatto ambientale indiretto in termini di CO₂ dovuto all'utilizzo di energia elettrica, è proporzionale alle prestazioni ed in particolare permette dal 36% al 50% in meno rispetto alle pompe di calore aria-acqua e circa il 56% in meno rispetto alle caldaie a gas.

In ambito economico si riscontrano dei costi iniziali notevolmente maggiori rispetto agli impianti tradizionali; ciò rappresenta il principale freno alla diffusione degli impianti con pompa di calore geotermica, nonostante il notevole risparmio annuo dovuto all'assenza della necessità di manutenzione obbligatoria e dei minori consumi energetici. Durante il processo di scelta della tipologia d'impianto, dunque, si preferisce optare per sistemi più economici trascurando le prestazioni energetiche ed i risparmi a medio-lungo termine.

Dal punto di vista normativo, invece, si può notare una disomogeneità sostanziale nella legislazione. Questa situazione è generata dalla delegazione alle Province di creare dei propri regolamenti e, nonostante le norme presenti in questi ultimi siano molto simili (se non uguali), si può osservare una maggior tutela del territorio e della risorsa idrica nel regolamento della provincia di Vicenza, la quale classifica le aree in base alla loro vulnerabilità. A questa meticolosità ed attenzione per il territorio, tuttavia, si contrappone la totale assenza del regolamento della Provincia di Padova, la quale ad oggi non ha emanato norme che regolano la progettazione e la messa in opera degli impianti geotermici in generale. L'obbligo da parte della Regione ad adottare dei regolamenti provinciali risolverebbe senza dubbio l'assenza normativa e, creando delle linee guida generali, si faciliterebbe la regolazione degli aspetti relativi agli impianti geotermiche soprattutto in ambito di maggior protezione del sottosuolo e delle risorse idriche. Le tempistiche dettate dai regolamenti e le procedure burocratiche necessarie rappresentano un importante disincentivo alla realizzazione di impianti geotermici: i tempi di rilascio dell'autorizzazione alla realizzazione vanno dai 45 ai 90 giorni con l'obbligo, in alcuni casi, dell'invio di documentazione e relazioni a Comune, Provincia e Regione.

A livello nazionale, dei maggiori incentivi economici permanenti verso i privati cittadini ed un'adeguata campagna d'informazione potrebbero garantire una crescita nello sfruttamento della risorsa geotermica in

ambito civile, permettendo un'accelerazione nella diversificazione delle fonti energetiche e soprattutto nella diminuzione dell'utilizzo di fonti fossili.

Le prospettive per il futuro degli impianti geotermici a bassa entalpia rimangono, ad oggi, piuttosto limitate. Gli elevati costi iniziali, i tempi necessari alla realizzazione ed il lungo iter burocratico prevalgono sugli aspetti ambientali positivi che caratterizzano questa tecnologia.

8. BIBLIOGRAFIA

- [1] Terna spa: “Impianti di generazione 2020”; (citato a p.3-4)
- [2] Prof. Lazzaretto A., slide lezioni;
- [3] Enel green power;
- [4] Edutecnica.it ;
- [5] Caleffi, “*Impianti a pompe di calore geotermiche*”, 2010;
- [6] CNA Energia, “*Pompe di calore geotermiche*”;
- [7] E.GEO, *scheda tecnica pompe di calore geotermiche*;
- [8] Herz, *scheda tecnica pompe di calore geotermiche*;
- [9] Mitsubishi, *scheda tecnica pompe di calore aria-acqua*;
- [10] Schuster, *scheda tecnica caldaie a condensazione*;
- [11] Ispra, “*fattori di emissione atmosferica di CO₂ e altri gas ad effetto serra*”, 2013;
- [12] guida edilizia.it, architettura sostenibile.it;
- [13] Ke Zhu, Liang Fang, Nairen Diao, Zhaohong Fang, “*Potential underground enviromental risk caused by GSHP systems*”, 2017, Jiang (China);
- Regolamento provinciale per la realizzazione di sistemi di scambio termico con il sottosuolo che non prevedano movimentazione di acqua di falda, Provincia di Venezia
- Regolamento provinciale per la realizzazione di sistemi di scambio termico con il sottosuolo che non prevedono movimentazione di acqua di falda, Provincia di Verona
- Regolamento per la realizzazione di impianti di scambio termico mediante l'utilizzo di sonde geotermiche a circuito chiuso, Provincia di Treviso
- Regolamento per la realizzazione di impianti di scambio termico mediante l'utilizzo di sonde geotermiche a circuito chiuso, Provincia di Rovigo
- Regolamento per la realizzazione di impianti di scambio termico a circuito chiuso (impianti di geoscambio), Provincia di Vicenza

Siti web consultati

- www.sciencedirect.com
- www.geotermiamarche.com; (citato a p.6)
- www.enelgreenpower.com; (citato a p.6)
- www.caleffi.com;
- www.egeo.com;
- www.herz.com;

- www.mitsubishi.com;
- www.schuster.com;
- www.ispraambiente.com;
- www.guidaedilizia.it
- www.architetturasostenibile.it;