

Tecnologie dei sistemi energetici a bassa entalpia

Negli ultimi anni l'opinione pubblica internazionale assiste a una sempre più crescente domanda mondiale di energia. In questo contesto la geotermia a bassa entalpia è vista come fonte di energia rinnovabile a impatto zero e assume una posizione di avanguardia nella lotta al surriscaldamento atmosferico. Il presente lavoro evidenzia lo stato della diffusione di questa tecnologia. Si sottolinea che, rispetto a una tecnologia tradizionale, si ottengono ottime prestazioni che vedono riduzioni di emissioni di circa 67% CO₂ /anno e di consumi energetici pari a circa 43%.

TECHNOLOGY OF LOW ENERGY SYSTEMS ENTHALPY

In recent years, the international public opinion witnessing a growing global demand for energy. In this context, the low enthalpy geothermal energy is seen as a source of renewable energy with zero impact and takes a leading position in the fight against global pollution. The present work shows the state of the spread of this technology. It should be noted that, compared to conventional technology, you get excellent performance which saw reductions in CO₂ emissions of about 67% / year and energy consumption of approximately 43%.

INTRODUZIONE

Negli ultimi anni l'opinione pubblica internazionale assiste a una sempre più crescente domanda mondiale di energia, agli allarmi che si levano giornalieri a causa dei cambiamenti climatici dovuti ai gas serra immessi in atmosfera e alla forte dipendenza energetica dai combustibili fossili. I consumi di energia primaria in Italia si caratterizzano per un preponderante ricorso a petrolio e gas, per un ridotto contributo di carbone ed energie rinnovabili e per l'assenza di generazione elettronucleare. In questo contesto, la geotermia a bassa entalpia è vista come fonte di energia rinnovabile a impatto zero e assume una posizione di avanguardia nella lotta al surriscaldamento atmosferico. In particolare, essa è applicata alla climatizzazione degli ambienti sia nel settore residenziale sia in quello del terziario, impiegando la tecnologia dei pali energetici che in modo non invasivo ed economico estraggono o iniettano calore dal sottosuolo.

LA GEOTERMIA A BASSA ENTHALPIA

L'entalpia è una funzione di stato¹ che descrive il contenuto termico o calore totale del sistema termodinamico, inteso per i sistemi geotermici, come l'insieme del terreno e/o dal suo contenuto acqueo. Nell'ambito dell'energia geotermica, è possibile individuare diverse tipologie energetiche in funzione delle diverse condizioni del fluido geotermico. Con il termine bassa entalpia si richiama quella tipologia impiantistica (a pompe di calore geotermiche - GHSP²) che, attraverso lo sfruttamento del ciclo termodinamico delle pompe di calore, estrae o inietta calore dal sottosuolo ai fini della climatizzazione degli edifici e della produzione di acqua calda sanitaria. Le risorse a bassa entalpia sono caratterizzate da fluidi geotermici con temperature inferiori agli 85 °C e sono indicate esclusivamente per usi diretti del calore.

Attualmente, la tecnologia GHSP è molto diffusa in paesi come USA, Svizzera, Germania e Svezia, mentre si sta diffondendo in Gran Bretagna, Norvegia, Canada, Austria, Francia e Olanda. La capacità termica mondiale di questa tecnologia si aggira attualmente intorno ai 22.000 MW_{th} con un numero di installazioni superiore a 1.600.000 unità. Il contributo più consistente è offerto dall'Unione Europea e dagli Stati Uniti. In Figura 1 si riporta la capacità di erogazione energetica (MW_{th}) per paese nella UE a 27 paesi. In Figura 2 si riporta un dettaglio della precedente figura per i primi 14 paesi della UE. Si osserva che negli USA le installazioni crescono di circa il 12% all'anno con un valore medio annuo di 50.000 unità. In ambito europeo, la Svezia è uno dei paesi più importanti al mondo per quanto riguarda la ricerca nello scambio di calore con il sottosuolo e l'utilizzo della pompa di calore nei sistemi di climatizzazione. A oggi gli impianti GSHP superano le 320.000 unità con una capacità di erogazione termica di 2.909 MW_{th}, coprenti il 92% del mercato svedese della climatizzazione e il 40% del mercato europeo delle GSHP. In Germania, il numero di installazioni si aggira intorno alle 151.000 unità con una capacità di erogazione energetica pari a 1.653 MW_{th}, collocando la Germania al secondo posto in Europa in questo settore. La Francia occupa il terzo posto nel mercato europeo delle GSHP con 121.886 installazioni totali, 1.340,7 MW_{th} di capacità energetica (Figura 1) e un incremento del 4,5% sull'anno precedente. In Austria, a oggi, sono presenti circa 49.000 impianti con una capacità di erogazione energetica complessiva di 545 MW_{th} e un incremento annuo pari a 1.300 unità. In Olanda dal 1994 al 2008 il numero di pompe di calore è passato da 220 a 19.310 con una capacità di erogazione energetica pari a 508 MW_{th} (Figura 1). Si sottolinea che questo paese detiene la leadership mondiale nella tecnologia alternativa ATEs³. In Polonia attualmente si contano circa

¹ $H = U + pV$ in cui: U è l'energia interna del sistema [J], p è la pressione [Pa], V è il volume del sistema considerato [m³]

² Ground Source Heat Pump

³ Aquifer Thermal Energy Storage: particolare tipo di accumulo termico che sfrutta l'acqua del sottosuolo come serbatoio termico prelevandola da due diversi pozzi sufficientemente distanti. È una tecnologia che può essere proficuamente adottata quando sussistono particolari condizioni nel sottosuolo (bassa velocità dell'acqua nella falda freatica).

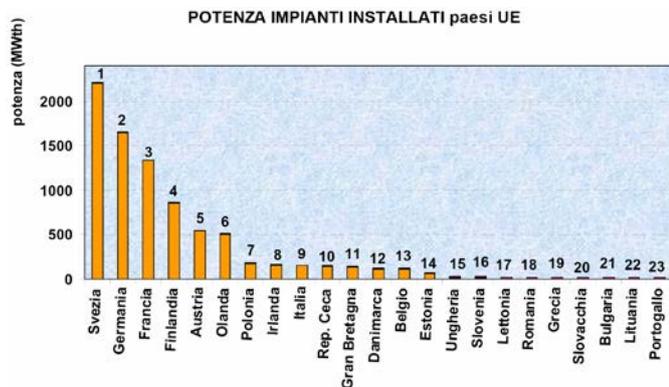


FIGURA 1 - Capacità di erogazione energetica (MW_{th}) per paese nella UE 27

11.000 installazioni con una capacità di erogazione energetica pari a 180 MW_{th}. Infine, l'Italia, con i suoi 7.500 impianti, 150 MW_{th} di capacità energetica (Figura 1) e una crescita zero negli ultimi 3 anni, occupa il nono posto nella classifica comunitaria. La maggior parte degli impianti, con funzionamento prevalentemente invernale, sono concentrati nella zona alpina a ridosso di Austria e Svizzera. Dal punto di vista tecnologico, osserviamo che la principale differenza tra le due zone è data dal fatto che negli Stati Uniti, molte unità sono dimensionate per affrontare carichi di picco in raffreddamento risultando sovradimensionate per il riscaldamento. Di conseguenza, la loro attività è stimata intorno alle 1.000 ore all'anno di carico di picco in riscaldamento. In Europa, invece, numerosi impianti sono dimensionati per i carichi invernali di base, dovendo ricorrere a combustibili fossili per far fronte ai carichi di picco. Le unità europee possono così operare a pieno carico dalle 2.000 alle 6.000 ore all'anno, con una media di circa 2.300 ore all'anno. In Svezia le macchine hanno una copertura di circa il 60% del carico termico di picco che risulta applicato per circa 3.500 - 4.000 ore/anno, il 40% del carico rimanente viene soddisfatto tramite riscaldatori elettrici incorporati nel cabinet della stessa pompa di calore. La Germania, la Francia e la Svizzera registrano circa 3.000 ore annue di funzionamento delle macchine, evidenziando un elevato utilizzo della tecnologia geotermica a bassa entalpia. L'Italia, infine, con le sue 1.500 ore, evidenzia un uso limitato delle unità.

Dal punto di vista energetico e ambientale, in Figura 2 si riportano gli scostamenti percentuali tra le due tipologie di impianto dal punto di vista ambientale ed energetico. Il sistema a pompa di calore a bassa entalpia presenta una produzione di circa 5.631,56 kg CO₂/anno, invece i sistemi tradizionali hanno un valore pari a 17.195,84 kg CO₂/anno. L'abbattimento complessivo di emissioni si aggira intorno al 67%. Un impianto di climatizzazione a pompa di calore necessita di 2,55 Tep/anno, invece la tradizionale tipologia impiantistica necessita di 7,81 Tep/anno. Il risparmio annuale ammonta quindi a 5,26 Tep/anno. Il fabbisogno annuale di energia primaria del sistema a pompa di calore geotermica risulta inferiore di circa il 43% rispetto al sistema tradizionale e il rendimento complessivo dell'impianto termico è pari al 134%, tenendo conto di tutte le energie in ingresso al sistema

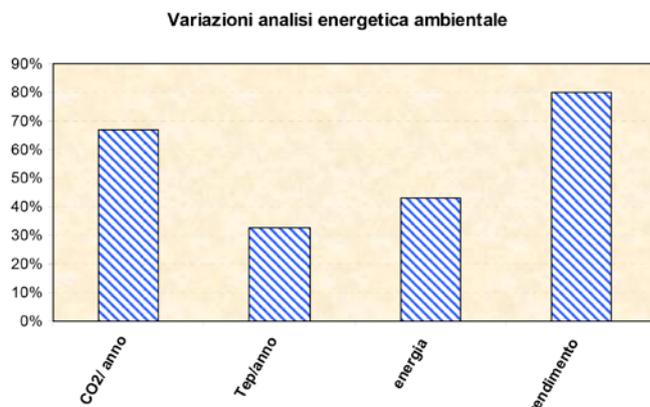


FIGURA 2 - Variazioni percentuali analisi energetica e ambientale

e del rendimento dell'apparato di distribuzione che attualmente è considerato pari al 45%. Ne consegue che il risparmio di energia pari al 43% è un risultato reale che non necessita di ulteriori correzioni. Aggiungiamo che il vantaggio energetico dell'impianto geotermico sarebbe notevolmente più consistente se parte del fabbisogno di energia elettrica di alimentazione della pompa (considerata un ausiliario) fosse generata da un impianto fotovoltaico.

TECNOLOGIE DEI SISTEMI

Sonde a sviluppo orizzontale

L'elemento fondamentale degli scambiatori orizzontali a terreno consiste nel congelamento delle tubazioni esterne di trasporto idrico. Queste ultime vengono installate nel terreno a una certa profondità dove la temperatura risente marginalmente delle variazioni atmosferiche esterne, creando così un favorevole gap termico nei confronti dell'aria esterna in grado di fornire un flusso di calore dell'ordine di 0,1 - 0,15 W/m. Lo scambiatore consiste in una tubazione in polietilene adagiata orizzontalmente nel terreno a una profondità compresa tra 1,2 e 2,5 metri con percorsi in serie o in parallelo e diverse disposizioni.

Tra queste ricordiamo le seguenti disposizioni:

- singolo tubo, singola tubazione a sviluppo orizzontale all'interno di trincee (Figura 3 a);
- tubi multipli, più coppie di tubazioni di mandata e di ritorno

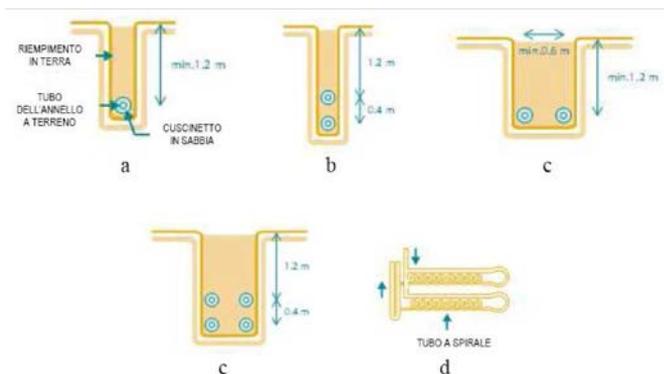


FIGURA 3 - Disposizioni delle sonde orizzontali

presenti nella stessa trincea. Le coppie possono essere sovrapposte (Figura 3 b) o affiancate (Figura 3 c) alla prima. Tra le varie trincee del percorso delle tubazioni orizzontali deve essere rispettata normalmente una distanza minima di circa 7 metri;

- a tubi spirale, posa delle tubazioni a spirale in trincee verticali analoghe per dimensioni a quelle degli scambiatori orizzontali a singolo tubo o a tubi multipli sovrapposti (Figura 3 d).

Un elemento di svantaggio delle sonde orizzontali è dato dalla variabilità termica degli strati superficiali del terreno in grado di penalizzare il COP della pompa di calore. In questa tipologia di sistemi, infatti, la sorgente termica è rappresentata da una vasta area e, per la circolazione del fluido termovettore, vengono impiegate pompe con prevalenze comprese tra 6 e 9 metri.

Sonde a sviluppo verticale

Le sonde verticali sono costituite da perforazioni del terreno di diametro 100 - 200 mm e profondità 20 - 200 m, contenenti tubazioni in polietilene a U, a doppio U, coassiali o coassiali complesse (Figura 4). Le tubazioni che attraversano i vari strati del terreno fino alla lunghezza della perforazione hanno un diametro di 20 - 40 mm e in genere il loro valore di acquisizione/dissipazione termica è intorno ai 50W/m.

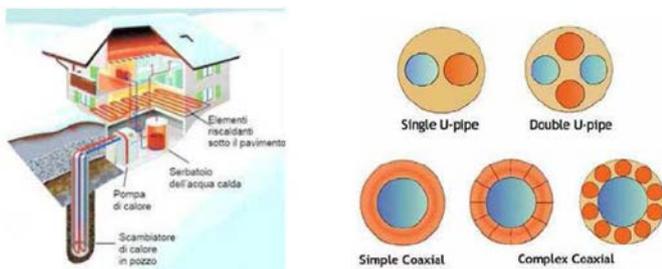


FIGURA 4 - Sonde geotermiche verticali

Nell'ipotesi di consistente richiesta di potenza termica da parte dell'edificio da climatizzare, si preferisce realizzare un sistema di sonde piuttosto al posto di un'unica installazione di eccessiva profondità. In questo caso, il posizionamento delle perforazioni prevede un interasse minimo di 8 metri, allo scopo di evitare l'interferenza termica tra le varie installazioni.

La sonda a doppio U è la soluzione adottata nella maggior parte dei casi, in quanto consente di avere le seguenti caratteristiche tecniche:

- continuità operativa della pompa. In caso di occlusione di uno dei due circuiti a U, quello che resta in funzione garantisce, dipendentemente dalle condizioni geologiche del sito, dal 70 all'85% della potenza originaria;
- minore resistenza termica del pozzo rispetto alla sonda a U dovuta all'impiego di tubazioni di minor diametro e conseguente minore spessore di parete, oltre che maggiore superficie di scambio termico;
- minori perdite di carico a parità di portata.

Tuttavia vi sono anche dei vantaggi a favore delle sonde a singola U, tra cui ricordiamo:

- minore interferenze dovute a cortocircuitazione termica;

- portate regolari e conseguente assenza di sbilanciamento fra i circuiti;
- maneggevolezza e conseguente maggiore praticità di installazione.

In conclusione, un bilancio comparato porta dunque a considerare le sonde a singola U "più sicure" nel caso di scarso know-how geotermico e reale conoscenza idrogeologica del sito di installazione.

Pali energetici

Un palo energetico è un pilastro di fondazione edile immerso nel terreno, di norma fino a una profondità massima di 60 metri, internamente munito di un circuito idraulico composto di tubazioni in PE 100 (polietilene ad alta densità) in cui scorre un fluido termovettore avente il compito di assorbire (o cedere) calore dal terreno circostante e trasportarlo alla pompa di calore. Alla principale funzione di sostegno dell'edificio, attraverso la distribuzione del carico in profondità, è dunque associata quella di scambio termico con il sottosuolo.

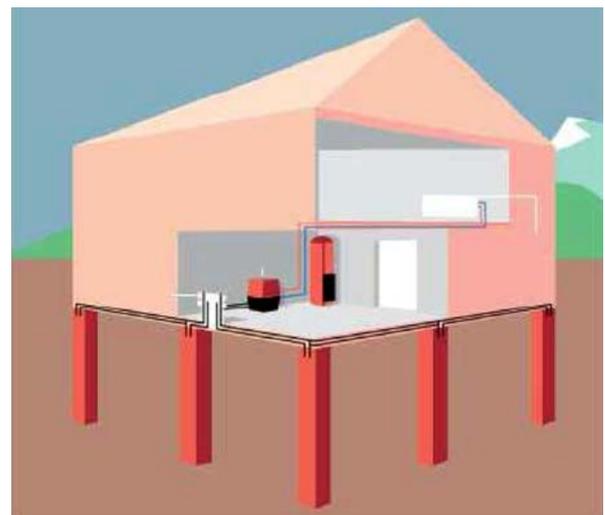


FIGURA 5 - Sistema di pali energetici in un edificio

I pali energetici (Figura 5) sono raccordati a una pompa di calore e/o a una macchina frigorifera e permettono di estrarre calore dal terreno per soddisfare i bisogni di calore in inverno e di iniettare i carichi termici in esubero dalla produzione di freddo in estate. È possibile un ulteriore impiego nel raffrescamento diretto degli edifici (geocooling), semplicemente collegando il circuito sotterraneo a uno scambiatore di calore nel quale confluisce anche il circuito domestico di alimentazione dei pannelli radianti o dei ventilconvettori.

Esiste una classificazione dei pali energetici basata su due criteri fondamentali come modalità di fabbricazione e modalità di installazione, che conducono sostanzialmente alla pratica applicazione di due principali tipologie di pali:

- prefabbricati;
- colati nel suolo.

I pali energetici prefabbricati, di lunghezza compresa tra 10 e 30 m, si distinguono a loro volta in pali quadrati a sezione piena

in calcestruzzo e pali vuoti. I primi sono realizzati in laboratorio. Il vantaggio di questo tipo di palo risiede nella minima distanza tra i tubi dello scambiatore e la parete esterna del palo stesso, oltre alla buona disposizione dei tubi, così che viene ottimizzato il trasferimento di calore dal terreno al fluido termovettore. Un altro vantaggio rispetto all'installazione fatta in cantiere è dato dal fissaggio dei tubi e dal loro controllo in fabbrica. La lunghezza fissa dei pali può, invece, essere considerata un inconveniente in quanto, in funzione della natura del terreno, spesso si deve ricorrere a una loro modifica. Un altro inconveniente è infine rappresentato dal rischio rottura dei tubi che rende il palo inutilizzabile come palo energetico, essendo esclusa ogni possibilità di riparazione. I pali vuoti sono per la maggior parte fabbricati in forma cilindrica o conica, in calcestruzzo armato centrifugato in laboratorio. Il cilindro vuoto ha un diametro esterno generalmente compreso tra 350 e 550 mm, con uno spessore da 80 a 90 mm, ed è equipaggiato di scambiatore di calore solo dopo l'installazione, il che costituisce un vantaggio se si considera la possibilità di ispezionare preventivamente il loro alloggio, di definire la lunghezza dei tubi e il loro diametro in funzione dell'effettiva lunghezza del palo. In generale gli scambiatori di calore del palo vuoto hanno un diametro maggiore rispetto a quelli del palo massiccio, con conseguenti minori perdite di carico. L'inconveniente principale è invece rappresentato dal riempimento in cantiere del vuoto del palo, considerato un'operazione delicata per via del possibile riempimento parziale o dello scorrimento dei tubi verso il basso.

Circa i pali colati nel suolo, osserviamo che la loro realizzazione prevede l'inserimento in blocco dell'armatura di rinforzo nella trivellazione, dopo che questa è stata equipaggiata delle tubazioni per lo scambio di calore, e il successivo riempimento della stessa con calcestruzzo, così che l'elemento portante diviene anche palo energetico. Il minimo spazio tra i tubi è di 150 mm e il loro diametro, affinché le perdite di carico non siano troppo elevate, dipende dalla lunghezza del palo. I pali colati sul posto possono avere un diametro fino a 2 m e raggiungere profondità dell'ordine dei 60 m.

CONCLUSIONI

Il problema dell'efficienza energetica, della riduzione dei consumi e dell'immissione di CO₂ in atmosfera investe tutti i settori che consumano energia. Il settore legato alla climatizzazione degli edifici del comparto residenziale e terziario italiano con oltre 44 Mtep utilizzati nel 2008, rappresenta il 34% circa dei consumi finali e il 67% dei consumi totali del settore edile. I sistemi geotermici a bassa entalpia si inseriscono in questo settore e, se opportunamente

incentivati, possono contribuire a un migliore efficientamento energetico e alla riduzione dei consumi. Sono stimati ottimi risultati in termini di emissioni (circa 67% di CO₂/anno) e di consumi energetici (circa 43%) rispetto a una tradizionale tecnologia.

Dal punto di vista normativo, esistono validi esempi in ambito europeo. La tecnologia geotermica a bassa entalpia ha trovato elevata diffusione nei paesi del Nord Europa e negli Stati Uniti, invece per il nostro paese si registrano risultati minimi. Si sottolinea che il rendimento di questa tipologia impiantistica risulta fortemente influenzato dalle sorgenti esterne a cui è assoggettata. Dunque, in fase di progettazione del sistema di pali, è auspicabile una corretta conoscenza delle caratteristiche geologiche e idrogeologiche del sito di interesse.

BIBLIOGRAFIA

1. D.C. Turcotte, G. Schubert, *Geodynamics*, Cambridge, Cambridge University Press, 2002
2. S.P. Kavanaugh, K. Rafferty, *Ground source heat pumps-Design of geothermal systems for commercial and institutional buildings*, ASHRAE Applications Handbook, 1997
3. R. Lazzarin, *Ground as a possible heat pump source*, *Geothermische Energie* 32/33, marzo/giugno 2001
4. D. Pahud, *Energia geotermica e applicazioni*, Treviso Svizzera, SUPSI, 2006
5. S. Basta, F. Minchio, *Geotermia e pompe di calore*, Verona, Ed. Geotermia.org, 2008
6. M. De Carli, R. Del Bianco, F. Fellin, *Sviluppi nelle pompe di calore: il terreno come sorgente termica*, Dip. di Fisica Tecnica dell'Università di Padova, 2006
7. A. Fromentin, D. Pahud, C. Jaquier, M. Morath, *Recommendation pour réalisation d'installations avec pieux échangeurs*, *Empfehlungen für Energiepfahlsysteme Rapport final*, Office federal de l'énergie, Bern, Switzerland
8. SIA, *Documentation D 0190 - Utilisation de la chaleur du sol par des ouvrages de fondation et de soutènement en béton*, Zurich, SIA, 2005
9. ENEA, *Rapporto energia e ambiente 2008 - Analisi e scenari*, Roma, ENEA, 2009
10. G. C. Bertagnoli, *Manuale di termotecnica applicata*, Gruppo Biasi, 2006
11. N. Rossi, *Manuale del termotecnico*, Milano, Hoepli, 2009
12. P. E. De Felice, *Il riscaldamento degli ambienti*, Napoli, Liguori Editore, 2002
13. G. Golino, G. F. Liparoti, *Impianti termotecnici*, Milano, Hoepli, 2008