

Sistemi di condizionamento domestico con geotermia a bassa entalpia

di Alessandro Cariani



Laureato in ingegneria aerospaziale presso il Politecnico di Milano, Cariani si occupa inizialmente di termofluidodinamica sperimentale e computazionale nel settore impiantistico civile ed industriale ad alta tecnologia, collaborando con il dipartimento di ingegneria aerospaziale del Politecnico di Milano.

A partire dal 1997 si occupa di ricerca e sviluppo nel settore energetico con particolare attenzione all'ambito della progettazione di sistemi di scambiatori di calore ad alta efficienza integrati a sistemi in geotermia avanzata, di progettazione di impiantistica industriale "ZeroEmission" e di sistemi di desalinizzazione e potabilizzazione non osmotica per grandi impianti industriali e residenziali.

Dal 2008, grazie ad accordi di collaborazione tecnologica fra la società Modutech S.r.l. e la Maison Cardin, collabora direttamente con Pierre Cardin allo sviluppo di sistemi ad impatto energetico zero di design integrati in recuperi di strutture architettoniche o ad integrazioni energetiche "ghost" in nuovi progetti quali il Palais Lumiere.

La geotermia a bassa entalpia viene spesso considerata una tecnologia astrusa e difficile da comprendere: eppure si tratta, in realtà, di un'applicazione che deriva direttamente dalla tecnologia dei condizionatori.

Il 99% delle famiglie italiane possiede oggi un esempio pratico del ciclo di Carnot (frigorifero, condizionatore o congelatore) su cui si basa l'applicazione della geotermia a bassa entalpia e nessuno mai si è sognato di discuterne l'affidabilità o la validità; un diverso atteggiamento si ha

invece nei confronti della pompa di calore (banalizzando, si tratta di null'altro che un frigorifero a ciclo invertito) verso la quale esiste ancora poca dimestichezza.

E questo è un vero peccato, in quanto la pompa di calore potrebbe essere facilmente applicata su vastissima scala sia per la produzione di acqua calda che per la climatizzazione degli ambienti, come del resto accade diffusamente in Giappone, negli Stati Uniti e nei Paesi del Nord Europa; tale sfruttamento avverrebbe utilizzando fonti di energia totalmente rinnovabili e largamente disponibili in natura, quali acqua di falde, fiumi, calore diffuso nel terreno ed energia solare fotovoltaica, ma soprattutto eliminando di fatto sistemi (quali i bruciatori a gasolio ed a metano) fonte di polveri sottili e biossido di carbonio.

Tramite azionamenti elettrici, infatti, il lavoro meccanico prodotto dagli organi interni alla pompa di calore permette di elevare le temperature del fluido operante (generalmente R410A) fino a 80 gradi, più che sufficienti per le applicazioni citate o addirittura per applicazioni di tipo industriale, quali la generazione di vapore secco o la refrigerazione.

Un processo di recupero energetico di tal genere risulta altamente remunerativo, poiché la quantità di energia che si riesce a recuperare dai fluidi "gratuiti" (aria, acqua, terra...) è superiore di circa quattro volte e mezza rispetto al lavoro meccanico svolto dal compressore, o, in altri termini, all'energia elettrica spesa per far funzionare l'impianto.

Tale principio, già razionale sotto l'aspetto fisico, diventa anche attuale sul piano industriale ed economico,

considerando l'andamento delle quotazioni dei prodotti petroliferi sul mercato internazionale.

Se si aggiunge oltretutto la facile integrabilità con sistemi fotovoltaici, il sistema integrato permette il raggiungimento del traguardo delle emissioni complessive nulle in CO₂, oltre che una interessante remunerazione che prevede anche bonus sugli incentivi che possono arrivare al 30% della tariffa incentivante erogata dal GSE.

La virtuale assenza di emissioni dei sistemi in geotermia a bassa entalpia renderebbe ideale l'installazione massiva in città come Milano, dove il costante sfioramento dei livelli di inquinamento ammessi, e quindi la susseguente irrogazione di multe da parte della comunità europea, avrebbero finalmente una soluzione.

Fra l'altro Milano dispone di un livello di falda acquifera molto vicina alla superficie, elemento che faciliterebbe molto le installazioni...

Il funzionamento di un sistema in geotermia a bassa entalpia

È necessario in prima battuta chiarire che la geotermia a bassa entalpia NON utilizza volumi di calore siti in profondità, come abitudine in paesi come l'Islanda, ma sfrutta il principio per cui la Terra viene utilizzata come un "serbatoio virtuale" in cui "versare" il calore in eccesso durante il periodo estivo e "pompate" quello necessario durante l'inverno.

In altri termini, invece di bruciare del combustibile per produrre calore utilizziamo quello già immagazzinato dalla Terra, diminuendo in maniera drastica la produzione di quella funzione di stato che i fisici chiamano entropia.

Analizziamo ora nel dettaglio il funzionamento di un sistema Geotermico a bassa entalpia, composto da una sonda e da una macchina a pompa di calore.

La pompa di calore si compone essenzialmente di un circuito sigillato all'interno, nel quale un gas (normalmente R410A, inoffensivo nei confronti della fascia di Ozono) compie un intero ciclo termodinamico, detto di Carnot, che consiste inizialmente in una compressione quasi adiabatica: ciò comporta un innalzamento di temperatura del gas stesso dovuta al fatto che il calore complessivo del gas rimane approssimativamente costante mentre varia il suo volume.

Intuitivamente è chiaro che l'azione di "costringere" il gas in un volume inferiore comporta l'innalzamento della sua temperatura, e viceversa: in questa maniera possiamo disporre di un volume di gas a temperature o molto elevate oppure molto basse.

Il motore elettrico di trascinamento e il compressore sono inglobati in un unico contenitore ermetico, completamente isolato termicamente, in modo da ridurre le dispersioni di calore verso l'esterno.

Quindi, durante la prima fase del ciclo (compressione) il gas R410a aumenta di pressione e di temperatura con un incremento del proprio contenuto entalpico; nella seconda fase il gas R410a attraversa uno scambiatore, detto condensatore, nel quale viene a contatto con l'acqua cedendo in contro corrente calore, e quindi abbassando la sua temperatura.

L'acqua o l'aria così riscaldate sono utilizzate come fluido vettore per il riscaldamento di locali o di acqua sanitaria tramite termoconvettori, classici radiatori oppure un sistema di scambio termico a pavimento.

Nella terza fase del ciclo termodinamico il gas R410a attraversa una valvola di espansione ove subisce un processo di "laminazione", che comporta una espansione del gas e quindi un calo della sua temperatura.

Questo cambiamento di stato da gas a liquido è utilizzato nell'evaporazione (quarta fase) dove il gas R410a si troverà a temperature molto basse, tali da permettergli di assorbire calore dal fluido vettore esterno apportatore di energia, che nel caso della geotermia potrebbe essere acqua di falda o acqua con aggiunta di glicole etilenico che ricircola nelle sonde sotterranee.

Riassumendo:

1. nella fase di evaporazione il gas R410a assorbe calore sottraendolo all'acqua di falda o glicolata;
2. nella fase di compressione il gas R410a (stato gassoso) assorbe ulteriore calore per conversione di lavoro meccanico-termico;
3. nella fase di condensazione il gas R410a cede il calore assorbito nelle due fasi precedenti, all'acqua o all'aria vettori che circolano nell'abitazione;
4. nella fase di espansione il gas R410a riduce la propria pressione e temperatura (stato liquido) per ripresentarsi al punto 1.

Ovviamente lo stesso ciclo, se invertito, genera allo scambiatore non un gas freddo ma caldo, e quindi viene raffreddato dall'acqua di falda (o da acqua addizionata a glicole etilenico): questo ciclo invertito permette alla pompa di calore di raffreddare invece di riscaldare l'abitazione.

Il rapporto tra la quantità di calore ceduto nel condensatore e la quantità di calore spesa in lavoro meccanico, ovvero quantità di energia elettrica consumata per il funzionamento del compressore viene chiamato COP (Coefficient of Performance) e dipende dalle temperature di evaporazione e di condensazione e dalla qualità intrinseca della macchina e della sonda nel terreno

Valori normali sono compresi fra 3 e 5, cioè per un kW elettrico immesso nella macchina si estraggono dai 3 ai 5 kW termici utili al riscaldamento o al raffreddamento della casa: è chiaro che ciò significa ottenere un costo specifico medio per unità di calore prodotto che è un settimo di quello di un impianto tradizionale con caldaia funzionante

Tabella costi						
Sistema di generazione calore	Energia da	Quantità	Potenza termica ottenuta (kWt)	€ IVA compresa per 1 kg o kW	Costo per 18,90 kWt (€)	CO2 emesso (kg)
Bruciatore a caldaia	Metano	2,57 m3	16,70	2,445	2,45	0,56
Bruciatore a caldaia	GPL	1,771	18,54	2,041	1,87	0,63
Bruciatore a caldaia	Gasolio	1,2051	11,80	1,76	2,82	0,79
Bruciatore a caldaia	Pellet sfuso	1 kg	4,4	0,39	1,67	1,12
Geotermico	Elettricità da rete	1 kW	da 4 a 5,5	0,16	da 0,54 a 0,75	da 0,08 a 0,14
Geotermico	Elettricità da FV	1 kW	4 - 5,5	0 + incentivi GSE	0	0
Geotermico	Elettricità da eolico	1 kW	4 - 5,5	0 + incentivi GSE	0	0

a gasolio e dell'80% in meno con caldaia a gas metano. In altri termini, se in una unità immobiliare monofamiliare di circa 100 mq. il costo di riscaldamento con gasolio si aggira attorno a circa 3.200,00 euro annui, con gas metano si scende a circa 1500-1700 euro, mentre con una pompa di calore si spendono approssimativamente 400 euro.

Va inoltre evidenziato che, utilizzando una pompa di calore per il riscaldamento degli ambienti, si dispone contestualmente di condizionamento e deumidificazione senza costi aggiuntivi, fatta eccezione per la modica spesa relativa alla valvola di inversione del ciclo di Carnot.

Altra applicazione della pompa di calore è il riscaldamento dell'acqua calda sanitaria; allo stato attuale le pompe installate in genere integrano la funzione estiva/invernale a quella di riscaldamento di acqua sanitaria in maniera automatica sfruttando lo scambio di calore con la sonda Geocompact interrata.

Per concludere, utilizzando sistemi di piastre ad induzione per la preparazione dei cibi, è possibile evitare l'installazione di impianti di distribuzione di gas combustibile (Metano o GPL) abbassando i costi complessivi di costruzione e di burocrazia, oltre a rendere molto sicuro l'intero impianto il quale non genera alcuna emissione in monossido di carbonio, non ha alcun rischio di perdite di gas infiammabile ed ha piani di cottura freddi.

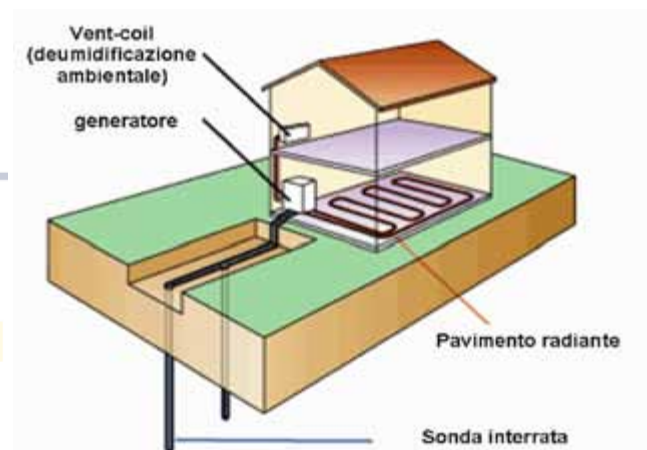
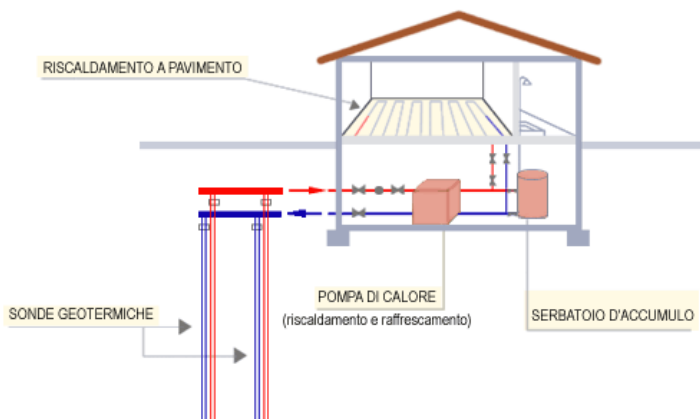
Nella tabella costi vediamo dunque quanto un sistema geotermico sia vantaggioso dal punto di vista economico.

L'efficienza complessiva imbattibile dei sistemi in geotermia (in particolare se installati in parallelo ad un sistema fotovoltaico, che può generare anche il 100% dell'energia elettrica necessaria al funzionamento del sistema) è però garantita solo se gli impianti sono perfettamente funzionali: in effetti il dimensionamento dell'impianto è piuttosto complesso in particolare per quanto riguarda la parte di sonda geotermica.

Il motivo di questa criticità è legato alla non uniformità della potenza termica dissipabile: va infatti ribadito che le sonde geotermiche a bassa entalpia non si comportano da semplici collettori del calore terrestre, come nei sistemi generativi quali quelli di Larderello, ma di fatto da dissipatori in volumi cosiddetti "pozzi termici".

Cos'è un "pozzo termico"? Semplicemente un volume dotato di elevata massa con una buona capacità di scambio termico che permette di fatto alle sonde di operare a temperature relativamente costanti.

Un classico "pozzo termico" è il pianeta Terra, che è dotato di massa virtualmente infinita (almeno per l'uso geotermico) e di sufficiente capacità di trasmissione del calore: questo permette di fatto l'utilizzo di fluidi che garantiscono la dissipazione del calore in estate ed il suo recupero in inverno.





In altri termini, in estate un sistema geotermico “pompa” il calore sottratto alla nostra casa nel terreno, mentre in inverno fa esattamente l’opposto: di fatto dal punto di vista termodinamico il ciclo complessivo dovrebbe essere quasi statico se non considerassimo la latitudine e la generazione di acqua calda sanitaria.

Ovviamente il riscaldamento di ACS (acqua calda sanitaria) è un processo univoco, nel senso che durante tutto l’anno a latitudini come quelle Italiane l’acqua calda sanitaria si scalda e non si raffredda: questo comporta il fatto che in estate si utilizzi una parte di calore scaricato dall’abitazione per scaldare l’ACS mentre in inverno tutta la potenza termica della pompa va a fornire calore sia all’abitazione che all’ACS.

Questa è un’altra problematica alquanto importante legata al dimensionamento degli impianti: si tenga conto

che un’abitazione mal coibentata (cfr. l’ultimo numero di GEOCENTRO/magazine) disperde in breve tempo il calore interno alla struttura, e necessita dunque di potenze termiche maggiori, che si sommano in inverno a quelle necessarie alla generazione di ACS.

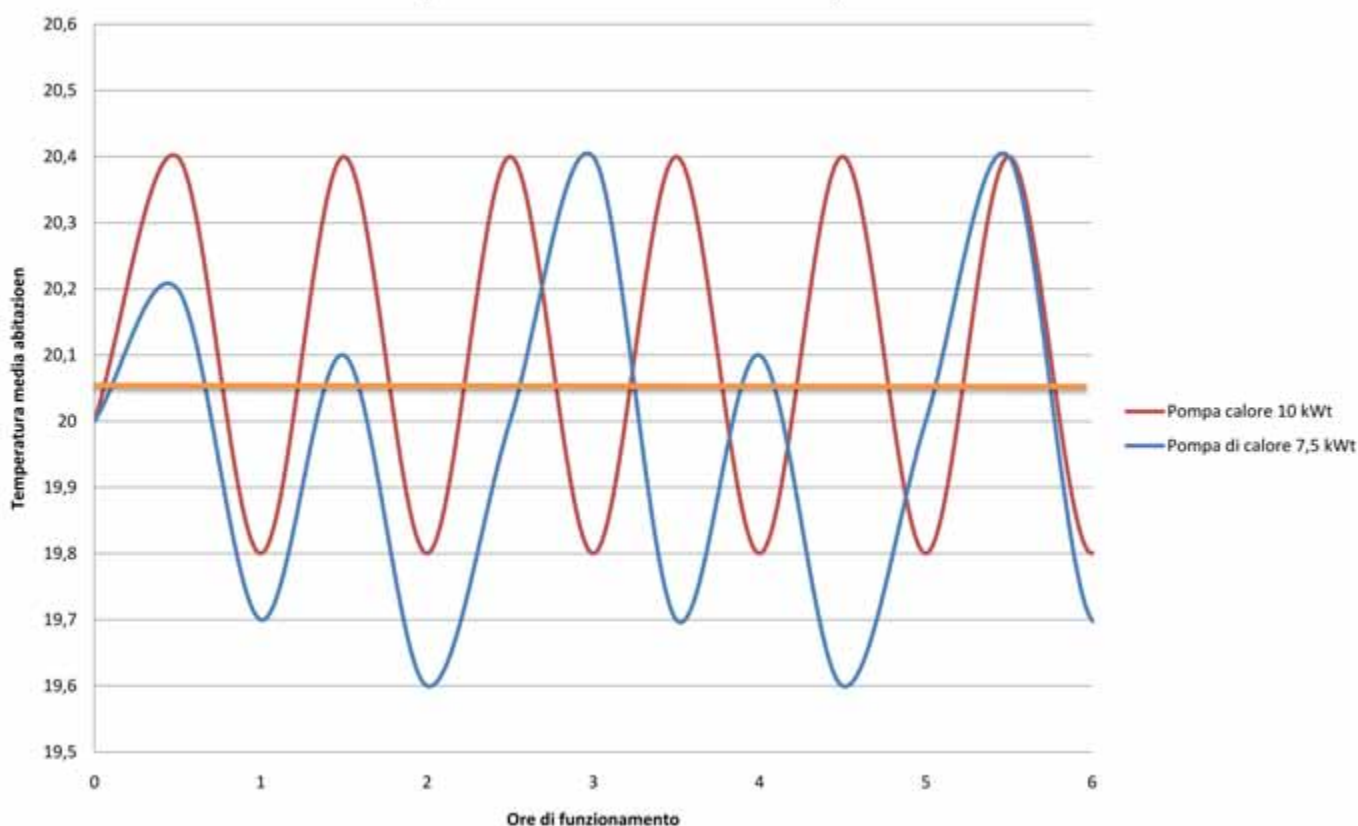
Il dimensionamento termico degli impianti va quindi impostato nella condizione invernale più sfavorevole, e con un indice di coibentazione termica di un grado inferiore per essere certi che le potenze in gioco permettano un facile raggiungimento delle condizioni di equilibrio termico.

Va tenuto in debito conto che i costi medi delle pompe di calore variano in maniera non lineare al variare delle potenze installate: in effetti raddoppiando la potenza termica installata in una pompa di calore il costo varia in genere del 30%, per cui un dimensionamento con un coefficiente di potenza 1,5 rispetto al calcolato comporta, in genere, costi di upgrade limitati.

Tale circostanza va comparata con i tempi di funzionamento dell’impianto: essendo la fornitura di energia elettrica una funzione in prima approssimazione direttamente proporzionale alle ore di funzionamento, una pompa di calore dimensionata in maniera più importante viene utilizzata per tempi inferiori, facendo scendere il costo di esercizio, come evidente nella figura proposta.

Altro parametro importantissimo legato alla funzionalità di un siffatto impianto è quello della funzionalità termica della sonda di captazione di calore, che deve essere dimensionato

Andamento temperature interne a differenti potenze di installazione



correttamente in funzione delle sue caratteristiche.

In questo senso va specificato che i sistemi di captazione geotermica possono essere in generale di tre tipi:

- Sonde verticali, in genere in materiale plastico multistrato;
- Sonde orizzontali, anch'esse in materiale plastico multistrato;
- Captazione a ciclo aperto con acqua di falda.

Vediamo un po' quali sono i vantaggi delle tre soluzioni.

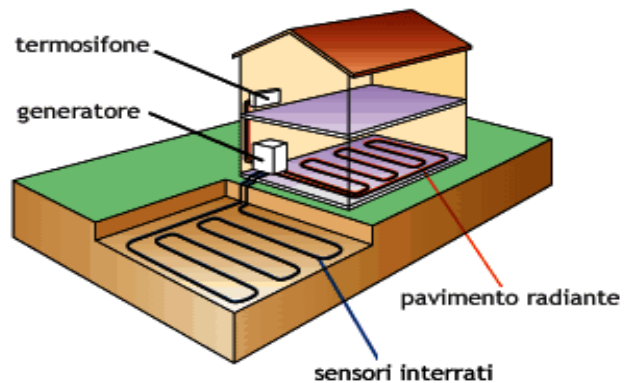
Nei primi due casi, poiché lo scambio termico avviene per conduzione all'interno della sonda che altro non è che una tubazione in materiale plastico (e quindi in generale un conduttore di calore non efficacissimo), le potenze di scambio in gioco sono abbastanza limitate e in prima approssimazione lineari con la lunghezza della sonda.

Parlando di sonde verticali, essendo ragionevoli valori fra i 20 ed i 40 w/m, per dissipare potenze dell'ordine di 7,5 kWt sono necessarie lunghezze di captazione oscillanti fra i 190 ed i 380 metri lineari di sonde, realizzabili tramite tre sonde in serie della lunghezza compresa fra i 60 ed i 120 metri di profondità.

Come è ben chiaro questa soluzione comporta costi di trivellazione di alcune migliaia di euro ed analisi geologiche approfondite del sottosuolo, che alzano ulteriormente i costi di installazione, oltre che di autorizzazioni amministrative non sempre facili ed economiche da ottenere.

La seconda soluzione, quella di utilizzare sonde orizzontali (installate alla profondità di circa 2,5 metri) permette di evitare installazioni complesse anche se le capacità termiche risultano inferiori rispetto ai sistemi verticali (dai 15 ai 25 w/m) e quindi necessitano di lunghezze maggiori per ottenere identiche potenze trasmissive.

Appare evidente che questa tecnologia risulta ideale nel caso in cui si debba realizzare un'area giardino ampia e sia necessario riarredare l'area, meno efficace se le superfici a disposizione sono limitate in quanto la lunghezza necessaria unita all'obbligo di lasciare sufficiente interasse fra tubazioni comportano infatti l'obbligo di disporre di ampie superfici.



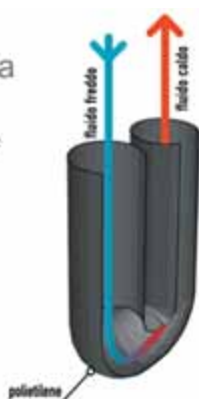
La terza soluzione si distingue dalle prime due per la tipologia di circuito, che diversamente dalle soluzioni ora indicate è aperto, basandosi sull'utilizzo di acqua di falda. In effetti, essendo spesso l'altezza di falda relativamente limitata, questa soluzione appare ideale in quanto non comporta profondità eccessive di trivellazione (spesso bastano 3-5 metri) ed addirittura possono utilizzarsi acque di pozzi già presenti senza particolari problemi.

Le controindicazioni funzionali sono invece legate alla necessità di installare uno scambiatore di calore intermedio che evita che le acque di falda (spesso inquinate da colibatteri fecali a causa dello scriteriato utilizzo della vetusta tecnica dei pozzi perdenti o cariche di sali disciolti) possano danneggiare lo scambiatore della pompa di calore.

Soluzioni di sonde geotermiche alternative sono quelle metalliche a serbatoio (tipo il sistema Geocompact) che permettono scavi limitati a 3-4 metri di profondità se in orizzontale ed a 8 se in verticale che garantiscono potenze di scambio attorno ai 10 kWt ed eliminano in maniera sostanziale la complessità impiantistica eliminando l'uso di scambiatori intermedi.

Pertanto il progettista deve attentamente valutare quale sia la soluzione ideale per l'installazione di sistemi geotermici, in particolare per valutare quale possa essere la migliore soluzione applicativa per le sonde geotermiche a bassa entalpia.

Sonda geotermica in polietilene



Sonda geotermica coassiale

