



FRANCO DONATINI

Docente di Energia Geotermica all'Università di Pisa

LA SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE NEL SETTORE ENERGETICO DEGLI USI TERMICI RESIDENZIALI.

TECNOLOGIE E PROSPETTIVE

Introduzione

Il problema epocale del cambio climatico richiede di mettere in atto un programma di interventi a largo raggio per ridurre le emissioni di anidride carbonica e di altri gas climalteranti, al fine di limitare l'incremento di temperatura media del pianeta nei prossimi anni non oltre due gradi centigradi, per evitare impatti proibitivi sulla vita dell'umanità.

Le principali azioni per ridurre le emissioni riguardano due aspetti, la riduzione del consumo primario delle risorse energetiche e il passaggio dall'uso, oggi prevalente, delle fonti fossili a quelle rinnovabili. L'World Energy Outlook della IEA (International Energy Agency) ha analizzato possibili scenari futuri per capire come fronteggiare il problema. Gli scenari studiati sono i seguenti:

- Scenario delle Politiche Correnti (Current Policies), che consiste nel mantenimento delle linee di sviluppo energetico attualmente seguite, comportando una crescita intensa delle emissioni.
- Scenario delle Nuove Politiche (New Policies), che attraverso un utilizzo di nuove tecnologie innovative accanto a quelle correnti si propone di stabilizzare le emissioni dal 2040, a seguito di una lenta crescita fino a questo anno.
- Scenario dello Sviluppo Sostenibile (Sustainable Development), basato sulla sostituzione delle tecnologie correnti con quelle innovative, con l'obiettivo di giungere circa a dimezzare le emissioni di anidride carbonica al 2040.

	2000	2017	New Policies		Current Policies		Sust. Development	
			2025	2040	2025	2040	2025	2040
Carbone	2.308	3.750	3.768	3.809	3.998	4.769	3.045	1.597
Petrolio	3.665	4.435	4.754	4.894	4.902	5.570	4.334	3.156
Gas	2.071	3.107	3.539	4.436	3.616	4.804	3.454	3.433
Nucleare	675	688	805	971	803	951	861	1.293
Rinnovabili (di cui)	1.308	1.992	2.521	3.605	2.464	3.234	2.451	4.237
- Idro	225	353	415	531	413	514	431	601
- Bioenergie	377	727	924	1.260	906	1.181	976	1.427
- Altre (eolico, FV, ecc)	60	254	516	1.223	479	948	648	2.132
- Biomassa solida	646	658	666	591	666	591	396	77
Totale	10.027	13.972	15.388	17.715	15.782	19.328	14.146	13.715
Quota combustibili fossili	80%	81%	78%	74%	79%	78%	77%	60%
Quota fonti rinnovabili	13%	14%	16%	20%	16%	17%	17%	31%
Generazione elettrica (TWh)	15.441	25.679	30.253	40.443	30.971	42.755	28.859	37.114
Emissioni CO2 (Gt)	23,1	32,6	33,9	35,9	35,5	42,5	29,5	17,6

Tabella I - Domanda mondiale di energia primaria in Mtep, per fonti e per scenario (WEO – 2018)

Galileo n. 1

Nella tabella 1 sono mostrati i tre scenari, con i relativi consumi primari previsti al 2025 e al 2040, confrontati quelli del 2000 e del 2017.

Ad oggi la quota di combustibili fossili sui consumi energetici complessivi vale ancora circa l'80%, con una predominanza del petrolio, seguito dal carbone e dal gas in fase di elevata crescita. Le fonti rinnovabili sono oggi al quarto posto, in significativa crescita nell'ultimo ventennio seguite da lontano dal nucleare che non ha evidenziato incrementi nello stesso periodo.

Dei tre scenari, solo quello dello Sviluppo Sostenibile consente di raggiungere l'obiettivo del contenimento dell'incremento di temperatura media della terra al valore di due gradi richiesti. Questo scenario prevede che vengano adottate azioni di contenimento dei consumi nei tre settori energetici di riferimento, cioè elettricità, trasporti e usi termici. L'obiettivo viene raggiunto ipotizzando un incremento dell'impiego delle fonti rinnovabili che nel settore elettrico passano dal 25% a due terzi, in quello degli usi termici dal 10% al 25% e in quello dei trasporti dal 3,5% al 19% e accanto a questo un miglioramento drastico dell'efficienza finalizzata al risparmio energetico, in particolare nell'uso del calore.

L'uso del calore e la situazione attuale

Per quanto riguarda i settori non elettrici, la penetrazione delle fonti rinnovabili risulta più bassa e con minori prospettive di incremento. Anche in Europa, dove è più elevata rispetto al resto del mondo, è ancora limitata, in termini percentuali, come riportato in tabella 2.

Quota di fonti rinnovabili	ITALIA	Europa (UE 28)
Consumi globali	17,8 %	18 %
Elettricità	33,9 %	32,1 %
Trasporti	7,7 %	8,1 %
Usi termici	19,2 %	19,7 %

Tabella 2 – Penetrazione delle fonti rinnovabili nei tre settori energetici (GSE-2018)

Il settore termico ha una maggiore penetrazione di quello dei trasporti, per cui in termini assoluti i consumi termici da fonte rinnovabile sono abbastanza elevati. Tuttavia ciò non vale in termini percentuali, il che dimostra che c'è ancora molto da fare in questo settore.

Con riferimento all'Italia, che peraltro non si discosta dal resto d'Europa, il settore dei consumi termici risulta quello più energivoro come mostrato nel diagramma a torta di figura 1.

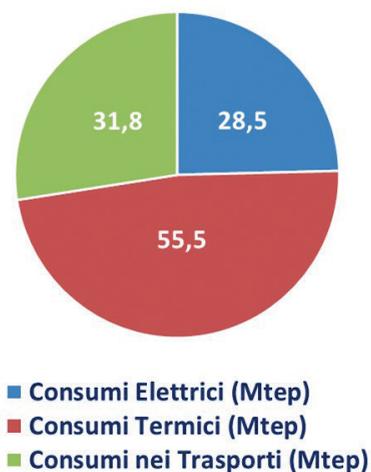


Figura 1 – Consumi energetici nei tre settori in Italia

È interessante analizzare l'andamento dei consumi nel settore degli usi termici, insieme alla penetrazione delle fonti rinnovabili in questo campo (figura 2).

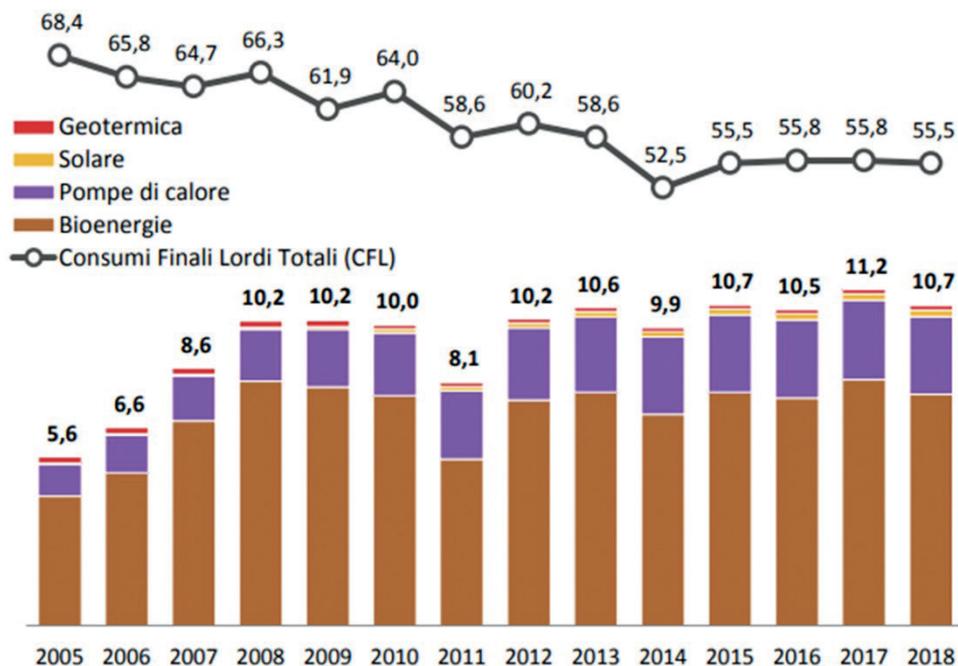


Figura 2 – Andamento negli anni dei consumi termici (Mtep) in Italia (GSE-2018)

Galileo n. 1

Dalla figura emerge che negli anni il consumo totale per usi termici si è progressivamente ridotto passando da 68,4 Mtep nel 2005 a 55,5 Mtep nel 2018, con una decrescita di circa il 20%, mentre nel contempo la quota relativa alle fonti rinnovabili, almeno a partire dal 2008, si è mantenuta mediamente costante, intorno a 10 Mtep. La riduzione dei consumi si è avuta essenzialmente per la messa in atto di politiche di risparmio energetico negli edifici, attraverso l'isolamento termico, la gestione ottimizzata del calore e in parte l'introduzione della cogenerazione e delle pompe di calore.

L'uso delle pompe di calore rappresenta la tecnologia di maggiori prospettive in questo campo anche perché la sua diffusione è ancora limitata, rispetto alle sue effettive potenzialità.

Questo studio si occupa in dettaglio delle pompe di calore con particolare riferimento al contesto residenziale.

Gli usi termici negli edifici

Gli usi termici negli edifici e in particolare nelle abitazioni riguardano il riscaldamento invernale, il raffrescamento estivo e la produzione di acqua calda sanitaria. Di solito vengono adoperati sistemi differenti per le tre funzioni, le caldaie a gas metano per il riscaldamento e la produzione di acqua calda e le pompe di calore "aerotermitiche", cioè che scambiano calore con aria esterna, per il raffrescamento estivo.

In ambito residenziale i consumi energetici più rilevanti riguardano la climatizzazione, rispetto agli altri usi, di cui gran parte vanno per il riscaldamento invernale. La somma dei consumi elettrici per illuminazione e forza motrice, risulta in tutte le aree del paese inferiore al consumo per usi termici, come emerge dalla figura 3.

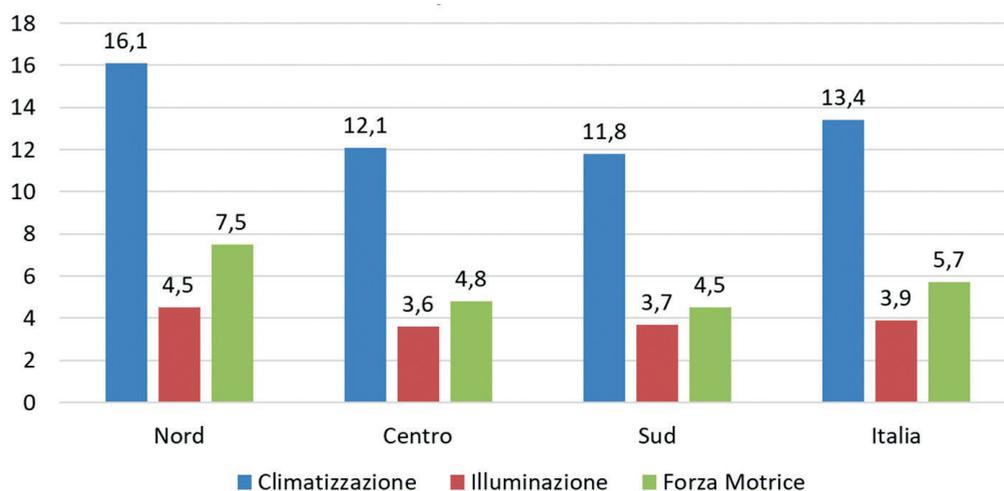


Figura 3 – Consumi energetici in Italia in ambito residenza in ktep/mq/anno (Enea – 2019)

Poiché i consumi termici risultano significativamente più elevati degli altri, occorre concentrarsi su questi per migliorare la sostenibilità del nostro comparto residenziale, introducendo tecnologie

innovative che consentano di migliorare l'efficienza energetica e di ridurre l'impatto sull'ambiente.

Le nuove soluzioni sono basate sull'impiego del concetto di pompa di calore che consente di trasferire o asportare calore tra una abitazione e l'ambiente esterno attraverso l'utilizzo dell'elettricità, senza usare la combustione di combustibili fossili che sono responsabili di un considerevole inquinamento locale. Nei centri urbani si può stimare che l'inquinamento dell'aria dipenda in misura all'incirca uguale dalle caldaie di riscaldamento e dal traffico veicolare.

La pompa di calore riduce il consumo energetico nel riscaldamento di un edificio rispetto alle caldaie a combustione, in quanto, attraverso l'utilizzo di elettricità, consente di spostare il calore dall'ambiente esterno a quello interno, come mostrato concettualmente nella figura 4.

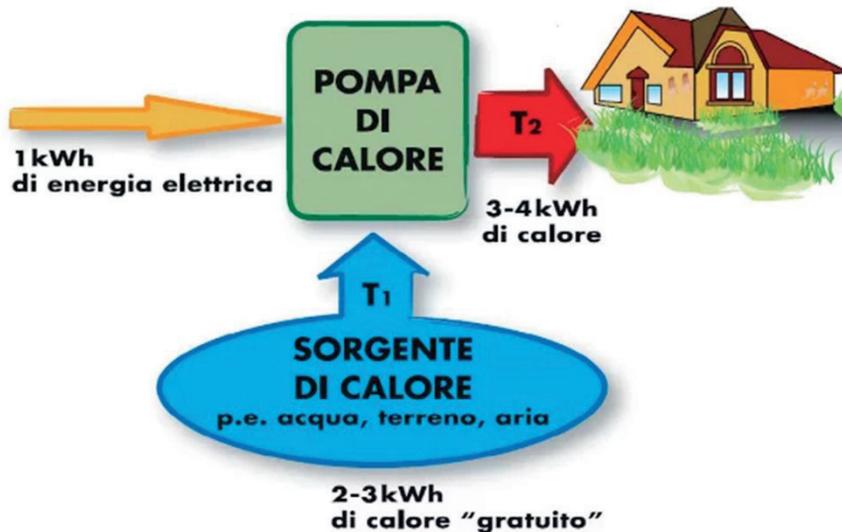


Figura 4 – Rappresentazione concettuale di una pompa di calore

In pratica una unità di energia elettrica consente di prelevare 2 – 3 unità di energia termica dall'ambiente esterno per trasferirne da 3 a 4 unità all'abitazione. Quindi una unità di elettricità ne trasferisce in questo caso fino a 4 di calore. La prestazione della pompa di calore dipende da vari parametri, primi tra tutti le temperature dell'ambiente esterno e di quello interno. Questo concetto sarà chiarito attraverso le considerazioni teoriche riportate nel paragrafo successivo.

Principio di funzionamento della pompa di calore

Secondo la termodinamica, se il trasferimento di calore da un corpo più caldo a uno più freddo avviene in maniera spontanea, per spostare il calore da un ambiente più freddo a uno più caldo, come è il caso della pompa di calore, occorre impiegare lavoro, cioè è necessario realizzare una macchina che realizzi questo processo.

Galileo n. 1



Figura 5 – Esempificazione del concetto di pompa di calore

Dalla figura 5 emerge che il Coefficiente di Prestazione (COP) di una pompa di calore è dato da rapporto tra il calore trasferito e il lavoro impiegato per effettuare questo trasferimento.

La macchina termica che realizza questo processo è basata su un ciclo termodinamico che può essere rappresentato sul diagramma temperatura entropia (T - s). Il ciclo si compone in generale delle seguenti quattro trasformazioni termodinamiche, a cui è sottoposto il fluido di lavoro: riscaldamento a temperatura costante (evaporazione), compressione, raffreddamento a temperatura costante (condensazione), espansione.

Nella figura 6 sono rappresentati due tipi di cicli basati sul concetto generale sopra esposto.

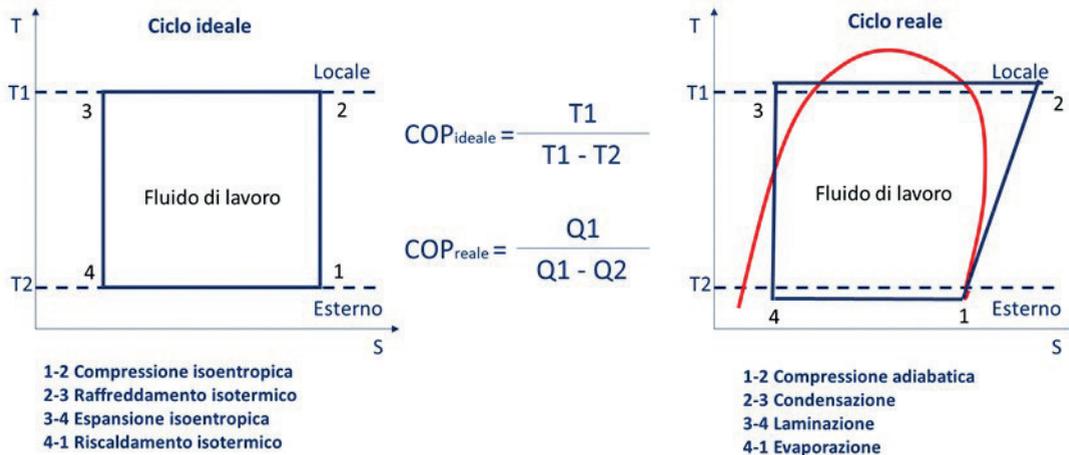


Figura 6 – Cicli termodinamici su cui è basata la pompa di calore

Il primo è un ciclo ideale, cosiddetto di Carnot inverso, perché rispetto a quello di Carnot diretto, la cui funzione è quella di produrre lavoro scambiando calore da una sorgente calda a una fredda, questo ha la funzione di spostare calore da un ambiente freddo a uno caldo consumando lavoro. Questo ciclo è ideale in quanto non affetto da perdite per irreversibilità. Infatti i trasferimenti di calore dalle due sorgenti di tipo isotermico avvengono senza che vi sia differenza di temperatura tra queste e il fluido di lavoro e l'espansione e la compressione avvengono in maniera isoentropica.

Il secondo ciclo mostrato è quello reale, cioè quello effettivamente utilizzato nelle pompe di calore. Rispetto al ciclo ideale, la compressione isoentropica è sostituita da una compressione adiabatica irreversibile, il raffreddamento isotermico da una condensazione, l'espansione isoentropica da una laminazione, il riscaldamento isotermico da una evaporazione del fluido di lavoro.

Per quanto riguarda il COP, nel caso ideale può essere espresso in funzione delle temperature degli ambienti attraverso i quali lavora la pompa di calore. Questa formulazione pur attenendo al ciclo ideale è molto esplicativa in quanto ci dice, come avviene anche nella realtà, quanto influenzi la prestazione la differenza dei livelli termici degli ambienti.

Questo aspetto è fondamentale nella progettazione dei sistemi di climatizzazione con pompe di calore e nella scelta del tipo di ambiente esterno da adottare nei casi specifici.

Emerge che la prestazione del nostro sistema, cioè il COP, sarà tanto migliore quanto più la temperatura dell'ambiente da cui prelevare il calore è vicina a quella richiesta nell'ambiente da riscaldare. Questo è il motivo per cui le pompe geotermiche sono più efficienti di quelle aerotermiche. È infatti evidente che se l'ambiente esterno con cui il nostro sistema lavora è l'aria, questa è molto più soggetta a variazioni stagionali rispetto per esempio alla falda acquifera sotterranea che oltre una certa profondità si mantiene quasi costantemente intorno a 10 °C, minimizzando così la differenza di temperatura tra ambiente esterno e interno (figura 7).

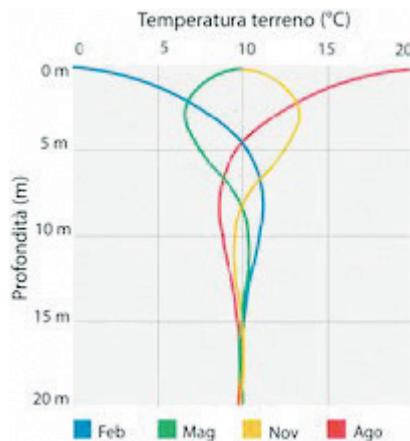


Figura 7 - Andamento della temperatura del terreno in funzione della profondità nei vari mesi

La situazione è ancora migliore in presenza di acque sotterranee riscaldate dal calore endogeno della terra, cioè in aree a gradiente geotermico più alto. In questi casi la pompa geotermica può lavorare con temperature esterne molto vicine a quelle richieste all'interno, con efficienze molto più elevate.

Galileo n. 1

Anche la temperatura a cui si deve portare il fluido di lavoro per riscaldare l'ambiente gioca un ruolo simile nella valutazione del COP. Cioè se il sistema di riscaldamento dell'ambiente interno ha coefficiente e superficie di scambio termico elevati e quindi non richiede elevati salti di temperatura la prestazione è migliore, come avviene ad esempio nel caso riscaldamento a pavimento, o di ventilconvettori, impiegati negli edifici di nuova costruzione.

Le pompe di calore per loro natura possono esplicare con lo stesso ciclo di base sia il riscaldamento che il raffreddamento degli ambienti e macchine di questo tipo, ormai universalmente impiegate, si definiscono Pompe Reversibili, il cui schema è riportato in figura 8.

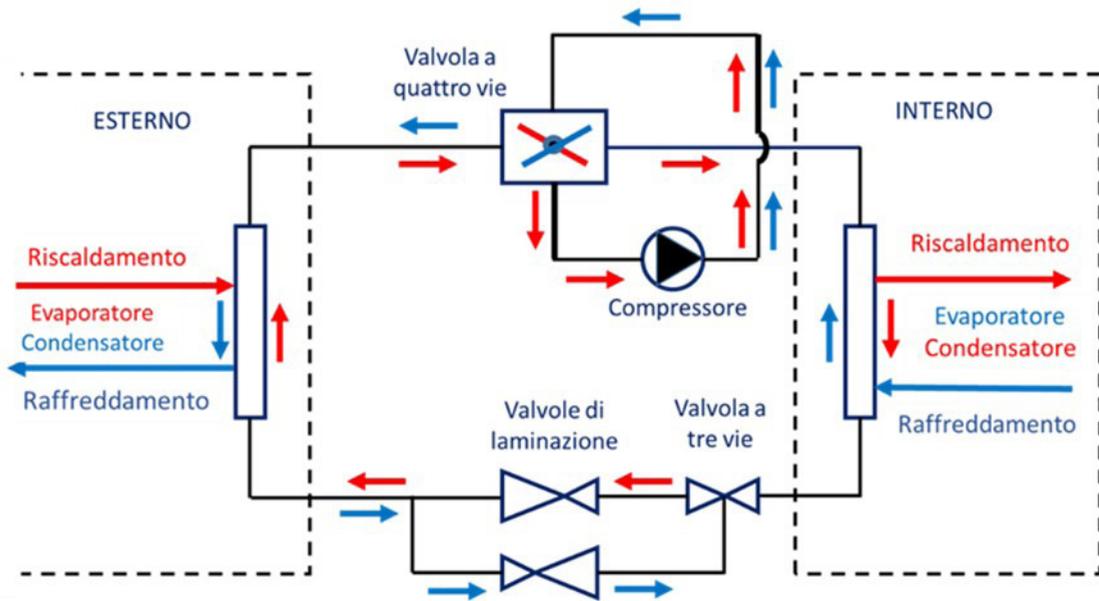


Figura 8 – Schema impiantistico di una pompa di calore reversibile

Nello schema base vengono introdotti dei semplici accorgimenti per consentire questa reversibilità di funzionamento. Passando da una modalità all'altra i due scambiatori, localizzati all'interno e all'esterno dell'abitazione cambiano al loro funzione passando da evaporatore a condensatore e viceversa. Ciò è reso possibile attraverso l'introduzione di una valvola a quattro vie in grado di invertire il senso di circolazione del fluido di lavoro e di una valvola a tre vie per consentire il verso giusto nel processo di laminazione.

La pompa di calore reversibile sta avendo una notevole penetrazione e seppur utilizzata essenzialmente nella climatizzazione estiva, viene utilizzata talvolta anche in quella invernale come integrativa rispetto al riscaldamento con caldaia convenzionale.

Come si è detto in precedenza la prestazione di una pompa di calore è definita dal COP che è pari al calore trasferito per riscaldare una abitazione, per unità di elettricità utilizzata. Nel caso

che la pompa operi in raffreddamento la prestazione è definita dall'indice EER, detto Rapporto di Efficienza Energetica, che rappresenta il calore sottratto all'abitazione da raffreddare per unità di energia elettrica utilizzata. In termini puramente scientifici i due indici sono sostanzialmente simili perché quantificano il rapporto tra l'effetto utile, cioè riscaldamento o raffreddamento e la risorsa, cioè l'elettricità consumata.

Applicazione dei sistemi a pompa di calore

Per migliorare la sostenibilità energetica e ambientale della climatizzazione delle abitazioni occorre mettere in atto un percorso che trasformi progressivamente le modalità di copertura del fabbisogno termico verso un sistema energeticamente più efficiente. L'evoluzione si basa su queste tappe a partire dalla situazione attuale (figura 9):

- Situazione ad oggi, caratterizzata dall'utilizzo di caldaie a condensazione per il riscaldamento invernale a termosifone e produzione di acqua calda, insieme all'impiego, abbastanza diffuso, di climatizzatori a pompa di calore per il raffreddamento estivo.
- Evoluzione ipotizzabile a breve termine, caratterizzata dall'impiego di pompe di calore reversibili per il riscaldamento invernale e il raffreddamento estivo e di una pompa di calore per la produzione di acqua calda. Le pompe di calore sono di tipo aerotermico, cioè si basano sullo scambio termico con l'aria ambiente.
- Evoluzione ipotizzabile a medio termine, basata ancora sull'impiego di pompe di calore reversibili per il riscaldamento invernale, il raffreddamento estivo e per la produzione di acqua calda, con la differenza che in questo caso le pompe di calore sono di tipo geotermico, cioè basate sullo scambio termico con sorgenti di acqua sotterranea sufficientemente profonda in grado di mantenere una temperatura stabile durante l'intero anno, intorno a 10 °C. Peraltro durante l'estate il raffrescamento può essere effettuato utilizzando direttamente l'acqua fredda sotterranea senza essere processata dalla pompa di calore, effettuando il cosiddetto "free cooling". Queste condizioni comportano una riduzione dei consumi energetici significativa rispetto alla soluzione precedente



Figura 9 – Evoluzione della climatizzazione degli edifici

Galileo n. 1

Si analizza ora il caso di una abitazione di 100 mq, collocata in un sito di caratteristiche medie italiane. Si ipotizza che si tratti di una unità residenziale moderna con riscaldamento a pavimento con temperatura dell'acqua di 35 °C, per cui la pompa geotermica che opera con una temperatura esterna del terreno pari a 10 °C risulta favorita. Per unità dello stesso tipo ma con riscaldamento a termosifone, la pompa geotermica non presenta lo stesso livello di risparmio, a meno che non si abbia la disponibilità di temperature notevolmente più elevate nel sottosuolo.

Dai calcoli sviluppati applicando i tre scenari al caso in esame risultano i consumi annui in kWh, riportati in figura 10.

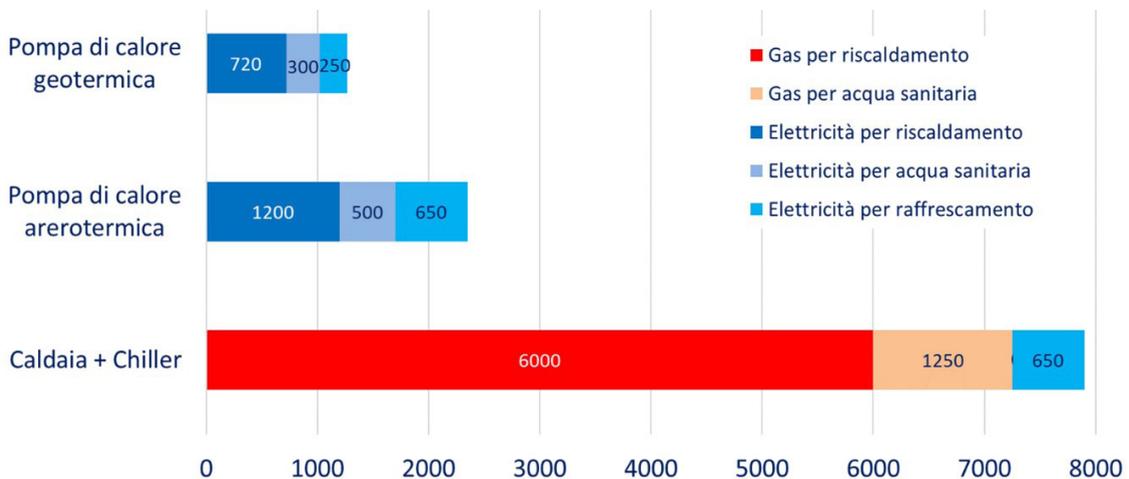


Figura 10 – Consumi annui (kWh) per i tre scenari considerati

In termini di gas ed elettricità i consumi annui espressi in kWh, relativi ai tre casi sono riportati in figura 11.

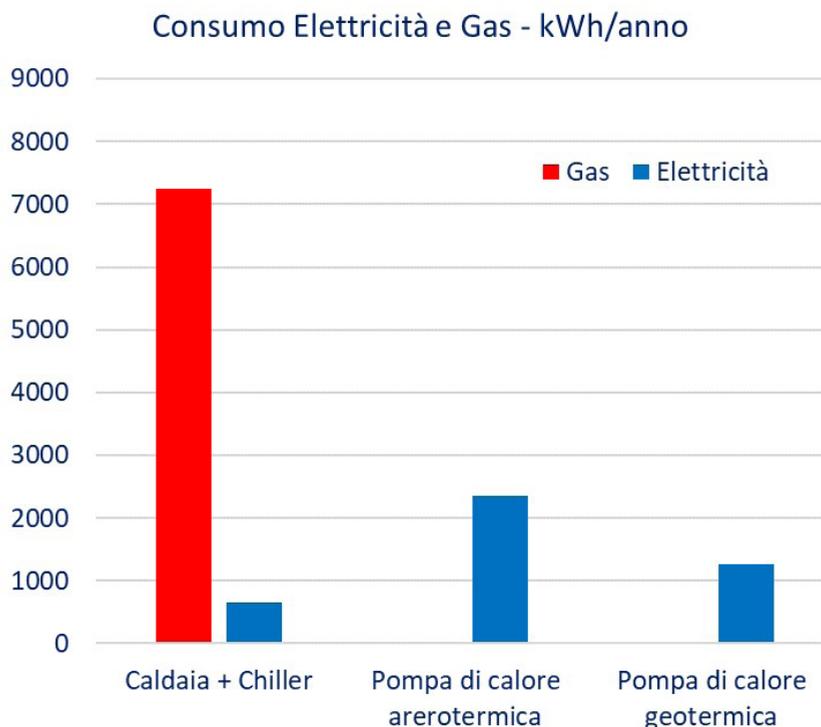


Figura 11 – Consumi annui (kWh) dei tre scenari in termini di gas ed elettricità

Per confrontare le tre soluzioni dal punto di vista del consumo energetico primario e conseguentemente delle emissioni connesse di anidride carbonica, è necessario analizzare la catena energetica della pompa di calore. Infatti benché localmente la pompa di calore non abbia emissioni, tuttavia l'elettricità che l'alimenta deve essere prodotta utilizzando anche fonti fossili.

La figura 12 mostra la catena energetica, comprendente la produzione di elettricità, la trasmissione in alta e media tensione (AT, MT) e la distribuzione in bassa (BT) fino alla alimentazione della pompa di calore.



Figura 12 – Catena energetica di una pompa di calore

Galileo n. 1

Ad oggi il rendimento del parco di generazione in Italia, rispetto alle fonti fossili impiegate è di circa il 54%, mentre le perdite elettriche di trasporto e distribuzione ammontano all'8%. Nell'ipotesi plausibile di un COP medio di 4, risulta che per ogni unità di energia primaria la pompa di calore trasferisce due unità di calore. Sulla base di questo dato è stato effettuato il confronto tra le tre soluzioni rispetto al consumo di fonte primaria fossile, riportato in figura 13.

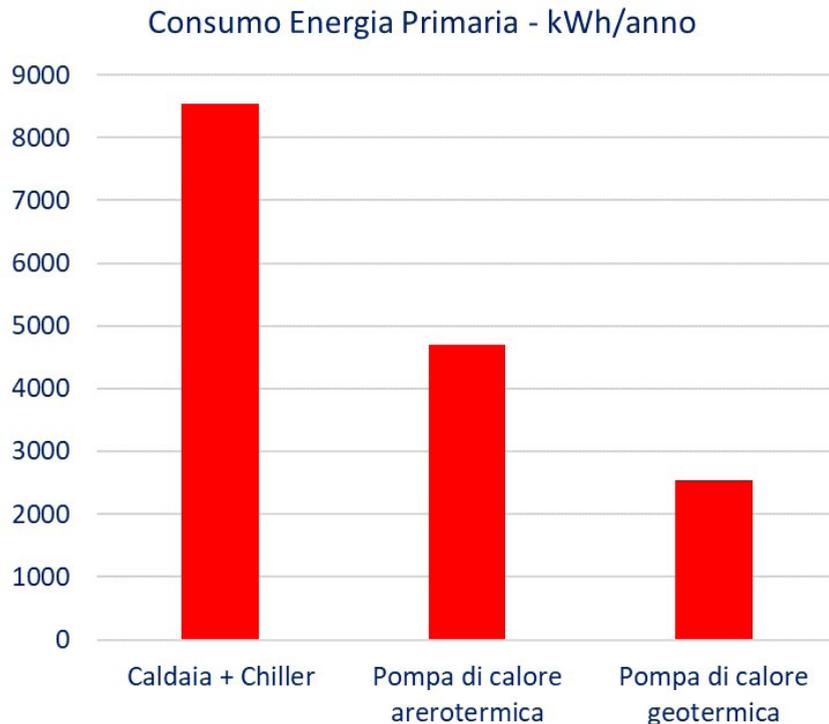


Figura 13 – Confronto delle tre soluzioni in termini di consumo di energia primaria (kWh/anno) per una tipica abitazione di 100 mq

Dalla figura emerge come l'impiego di pompe tradizionali di tipo aerotermico consentano quasi di dimezzare i consumi primari. Passando poi alle pompe di calore di tipo geotermico si ha un ulteriore dimezzamento dei consumi.

Conclusioni

L'analisi effettuata ha consentito di prevedere i vantaggi energetici e ambientali legati alla introduzione delle pompe di calore nella climatizzazione degli edifici. Ovviamente per ottenere questi vantaggi è necessario che le applicazioni vengano effettuate su abitazioni di moderna concezione, attrezzate con sistemi di scambio di calore efficiente, quali i ventilconvettori e/o scambio termico a pavimento. In questi casi la riduzione di consumo ammonta a quasi due volte per le pompe aereotermiche e quasi quattro volte per quelle geotermiche.

Inoltre il fatto che le pompe di calore siano alimentate esclusivamente a energia elettrica, oltre a eliminare l'inquinamento locale, consentono nel caso di produzione di elettricità da fonti rinnovabili di essere neutre dal punto di vista delle emissioni di carbonio. Peraltro si deve sottolineare che il maggiore impiego di fonti rinnovabili, già oggi e in prospettiva, si ha proprio nel settore elettrico.

Lo studio si limita all'analisi delle pompe di calore e non esaurisce tutte le altre possibilità di migliorare la sostenibilità energetica e ambientale nel campo della climatizzazione. Altre tecniche di interesse sono la cogenerazione, il teleriscaldamento soprattutto in presenza di aree con più elevate temperature nel sottosuolo a media bassa profondità e l'impiego di fonti rinnovabili per il riscaldamento come le biomasse.