

Edifici passivi

Quando la terra riscalda e raffredda

Articolo apparso su L'installatore italiano, n. 11, dicembre 2002

Un edificio passivo può ricorrere al terreno per far fronte alle esigenze termiche e a un buon comfort. Questo perché a una determinata profondità – normalmente 60-100 cm – la temperatura della terra rimane quasi costante per tutto l'anno. Così, utilizzando uno scambiatore interrato, si possono riscaldare gli ambienti in inverno e raffrescarli in estate. In alcune regioni italiane sono sufficienti anche finestre con trasmittanza normale.

Uno dei sistemi per contenere i consumi di energia potrebbe essere l'impiego di scambiatori interrati. Prima di affrontare l'argomento, vorrei brevemente ricordare che un edificio passivo offre un elevato comfort abitativo, con un fabbisogno termico annuo di meno di kWh/m². Ciò consente non solo di rinunciare ad un sistema di riscaldamento convenzionale, ma anche di fornire il calore ancora necessario tramite l'aria, cioè tramite un sistema di ventilazione controllata. Esperienze con molti di questi edifici sono state fatte nell'Europa centrale, queste tuttavia possono servire principalmente in regioni italiane con un clima relativamente rigido. Nelle regioni del Centro e del Sud il problema della climatizzazione ha due facce, in quanto ha rilevanza non solo il riscaldamento invernale, ma anche il raffrescamento estivo. In un edificio passivo si possono risolvere questi due problemi con la stessa tecnologia, cioè con il sistema di ventilazione collegato ad uno scambiatore interrato (Subsoil Heat Exchanger - SHE).



Scambiatore interrato in costruzione

Scambiatori interrati per edifici passivi

Con uno scambiatore interrato si sfrutta il fatto che, a una determinata profondità del terreno, normalmente 60-100 cm, la temperatura della terra rimane più o meno costante per tutto l'anno. Questo fenomeno può essere sfruttato sia in inverno per il riscaldamento che in estate per raffrescare gli ambienti.

Gli scambiatori interrati sono in uso da molto tempo come sorgente d'energia di pompe di calore. Essi consistono in una serie di tubi paralleli posati in trincea sotto o all'esterno dell'edificio. Nei tubi circola un fluido, normalmente acqua, che scambia energia termica con il terreno. In inverno, il fluido freddo, passando per lo scambiatore, aumenta la sua temperatura e l'energia assunta è estratta dalla pompa che la trasferisce all'acqua del circuito di riscaldamento. Questo sistema è molto pratico ed economico nel caso di impianti di riscaldamento a bassa temperatura, come per esempio quelli con pavimento radiante. L'importante è che la pompa di calore abbia un buon coefficiente di prestazione (COP). Ricordo che il

coefficiente esprime il rapporto tra la quantità d'energia elettrica necessaria per azionare la pompa di calore e l'energia utile prodotta. Un COP = 4 significa che la macchina fornisce il triplo dell'energia che consuma, per esempio con 1 kWh elettrica si producono 3 kWh termiche. Lo stesso sistema è utilizzabile per raffrescare in estate gli ambienti di una casa. In questo caso la pompa funziona all'inverso: estrae calore dall'acqua che circola nel sistema di riscaldamento e lo smaltisce nel terreno.

Non dimentichiamoci che per riscaldare o raffrescare un edificio convenzionale occorre trasferire elevate quantità di energia; per questo motivo l'acqua è il mezzo di trasporto più adatto.

Riscaldamento invernale

Negli edifici passivi il problema del riscaldamento invernale si pone in maniera diversa. Il fabbisogno termico residuo di un edificio passivo è molto ridotto e, se la potenza necessaria non supera 10 W/m², il calore ancora richiesto può essere conferito tramite il sistema di ventilazione, come si può dimostrare per mezzo di un semplice calcolo.

La capacità dell'aria di trasportare calore che è di 0,33 Wh/(m³K). Il fabbisogno d'aria fresca è di 30 m³ per persona e ora. In un alloggio di 120 m² abitato da 4 persone, si devono quindi ricambiare ogni ora 120 m³ d'aria, cioè 1 m³/m². Ipotizzando che la temperatura dell'aria in entrata debba essere alzata di 30 K si ottiene:

$$1 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot 30 \text{ K} \cdot 0,33 \text{ Wh}/(\text{m}^3 \text{ K}) = 10 \text{ W}/\text{m}^2.$$

Le esperienze tedesche dimostrano che, in un edificio passivo, per raggiungere anche nei giorni più freddi, la temperatura desiderata (19-20°C), una potenza di 10 W/m² è più che sufficiente¹.

A questo punto vorrei ricordare che le principali sorgenti di calore sfruttate negli edifici passivi sono il sole (finestre), le fonti interne (persone, illuminazione, apparecchiature), e l'aria calda in uscita. L'energia termica dell'aria in uscita è recuperata tramite scambiatori di calore che la trasferiscono all'aria fredda in entrata. Gli scambiatori possono essere a flusso incrociato o a flusso inverso, ma devono garantire un rendimento di almeno il 75 %.

L'aria in uscita contiene, inoltre, vapore acqueo che si è prodotto nell'edificio. Raffreddando questo vapore fino ad una temperatura di 2°C, dall'aria in uscita si può estrarre altra energia (il calore latente di condensazione). Il sistema può raggiungere complessivamente una potenza di 500-800 Watt.

In ogni caso, per alzare la temperatura dell'aria in entrata al livello desiderato occorrono ancora altre fonti di calore. Una fonte gratuita può essere il terreno. Facendo passare attraverso uno scambiatore interrato l'aria fredda in entrata, che ha una temperatura di -2°C, questa si riscalda a 8-10°C. Nell'Europa centrale, anche in giorni molto freddi, l'aria fresca, passando per uno scambiatore interrato ad una profondità maggiore di 3 metri, assume una temperatura intorno ai 10 °C². L'effettivo calore che l'aria fresca può assumere nello scambiatore interrato dipende dalla superficie e dalla lunghezza dello stesso.

Per esigenze igieniche l'aria fresca, prima di condurla nello scambiatore interrato, deve essere filtrata e si deve assolutamente evitare che si condensi nei tubi. Lo

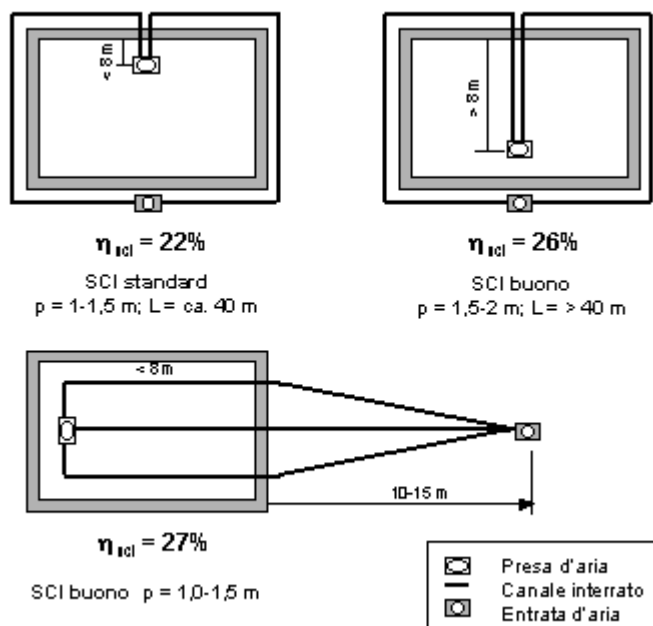
¹ Feist, W: Gestaltungsgrundlagen Passivhäuser, Darmstadt 2000, p. 45

² Feist, W: Gestaltungsgrundlagen Passivhäuser, Darmstadt 2000, p. 43

scambiatore interrato è composto da una serie di tubi paralleli (da uno fino a cinque). Per ogni alloggio ne occorrono complessivamente tra i 12 e i 30 metri. L'aria fresca così preriscaldata assume poi dell'altro calore nello scambiatore del sistema di ventilazione, ma normalmente non raggiunge ancora la temperatura desiderata. Perciò nel sistema di ventilazione è spesso inserita anche una piccola pompa di calore con una potenza di 300-500 Watt che estrae altro calore dall'aria in uscita. La pompa di calore deve essere installata in modo che l'evaporatore si trovi nel canale dell'aria in uscita e il condensatore in quello dell'aria fresca, posto dopo lo scambiatore a flusso incrociato. Naturalmente sono pensabili anche altre soluzioni, per esempio l'estrazione di calore dall'acqua calda prodotta da un collettore solare.

La realizzazione di questo sistema è abbastanza facile poiché l'industria produce per gli edifici passivi apparecchi monoblocco che espletano tutte le funzioni, cioè ventilazione, riscaldamento e produzione d'acqua calda. La capacità dei moduli di ventilazione varia tra 80 e 210 m³/h. Grazie all'uso di motori che funzionano a corrente continua, il consumo d'energia è minimo. La potenza specifica è compresa tra 0,3 e 0,45 Watt per metro cubo d'aria trasportata all'ora (m³/h). Negli apparecchi è integrata una minipompa di calore, che produce l'energia termica necessaria per ottenere la temperatura d'aria desiderata e l'acqua calda sanitaria, nonché un serbatoio per contenerla. E' possibile anche la combinazione con un collettore solare. La dimensione degli apparecchi non supera quella di un frigorifero con congelatore.

Possibili disposizioni di scambiatori interrati



Raffrescamento estivo

Ciò che è stato descritto finora riguarda il regime invernale. In estate, invece, quando si tratta di raffreddare l'aria prima di immetterla negli ambienti, il funzionamento del sistema è più semplice, perché già il massiccio involucro termico di un edificio passivo impedisce il riscaldamento delle strutture esposte al sole. Un surriscaldamento degli ambienti si può verificare solo quando l'aria calda penetra dall'esterno attraverso le finestre aperte. In un edificio passivo, dotato di un sistema di ventilazione collegato ad uno scambiatore interrato, il raffreddamento è molto facile. Per raffreddare gli ambienti dell'edificio basta far passare l'aria esterna per lo scambiatore interrato dove essa cede parte del suo calore al terreno e si

raffredda. Poiché in estate l'aria interna non deve avere una determinata temperatura come in inverno e una temperatura interna inferiore di circa 5 K rispetto a quella esterna procura già una sensazione di fresco, l'aria così raffreddata può essere immessa negli ambienti.

Questo sistema di raffrescamento è molto antico, infatti, lo troviamo anche in alcune ville rinascimentali dove, in estate, l'aria esterna spinta dal vento, prima di penetrare negli ambienti, attraversa delle grotte e dei cunicoli naturali dove si raffredda³. Nello scambiatore interrato avviene in pratica la stessa cosa. Dalle esperienze fatte risulta che uno scambiatore interrato sia più efficace in estate che in inverno. A questo riguardo riporto un esempio⁴: In un nuovo edificio amministrativo ad Esslingen (Germania) che ha un fabbisogno termico di 117 MJ/m²a (pari a 32,5 kWh/m²a), lo scambiatore interrato copre circa il 9 % dell'energia necessaria per il riscaldamento invernale (9224 kWh), ma più importante è il suo contributo al raffrescamento estivo. Esso copre il 23 % dell'energia necessaria, mentre il restante 77 % si ottiene dal raffrescamento notturno del sistema di ventilazione. Così la temperatura estiva non supera mai i 28°C, nemmeno all'ultimo piano dell'edificio. Questo non sarebbe però possibile senza il sofisticato sistema di ombreggiatura montato sulla facciata interamente vetrata. Le temperature dell'aria misurate all'uscita dello scambiatore interrato sono le seguenti: in inverno > 5°C; in estate < 20°C. In inverno, ad una temperatura esterna di 0°C, l'impianto richiede una potenza di 20 kW per il riscaldamento; mentre in estate, quando la temperatura esterna è di 25°C, la potenza richiesta per il raffrescamento si riduce a 15 kW, ma a temperature più alte può aumentare fino a 30 kW. L'esempio dimostra che si può ottenere un alto comfort climatico anche senza i normali impianti di refrigerazione.

Il riscaldamento, e rispettivamente il raffrescamento mediante il sistema di ventilazione, non piace a molti progettisti e utenti perché temono che le correnti d'aria possano causare fastidi. Il raffrescamento (o il riscaldamento) degli ambienti si può ottenere però anche raffreddando (o riscaldando) le strutture dell'edificio. In un sistema di riscaldamento a pavimento può circolare acqua calda in inverno e acqua raffreddata in estate (ma non si avrebbe deumidificazione). In un edificio passivo, dotato solo di un sistema di ventilazione, si potrebbe pensare a un raffreddamento delle strutture facendo passare l'aria fredda, per esempio, in un'intercapedine inserita nelle pareti divisorie. Questo sistema è stato applicato con successo in un palazzo residenziale di Friburgo in Germania. A questo punto si può affermare che gli scambiatori interrati rappresentano un'ottima soluzione quando si tratta non solo di riscaldare un edificio in inverno, ma anche di raffrescarlo in estate, cosa indispensabile in molte regioni del Centro e del Sud Italia.

Ricambio d'aria

Un altro aspetto che riguarda il sistema di ventilazione è quello del tasso di ricambio d'aria. Nella letteratura specializzata tedesca è normalmente indicato un tasso di ricambio d'aria di 0,4/h. Questo tasso è stato fissato in riferimento all'altezza usuale di 2,50 m delle abitazioni. Un alloggio tedesco di 120 m² ha quindi un volume d'aria di 300 m³. Calcolando un fabbisogno d'aria fresca di 30 m³ per persona e ora, in un alloggio abitato da quattro persone si devono ricambiare circa 120 m³ d'aria all'ora; si comprende quindi un tasso di ricambio richiesto pari a 0,4.

Questo tasso di ricambio è ritenuto necessario anche per asportare l'umidità che si forma all'interno, quando le temperature esterne salgono sopra i 10°C. Questo problema è però meno risentito negli edifici passivi, perché ad una temperatura

³ Il sistema è brevemente descritto in: Gallo, C. (a cura di): Architettura bioclimatica, ENEA 1995.

⁴ Humm, O.: Nachhaltigkeit als ökologisches Postulat, in SIA Nr. 43, 27.10.2000, S. 940-942

esterna di 10°C non si deve più fornire calore tramite il sistema di ventilazione e si possono tranquillamente aprire le finestre.

Secondo le norme italiane, l'altezza minima degli ambienti abitati è di 2,70 m. Per ottenere un ricambio d'aria corrispondente a 30 m³ per persona e ora, un tasso di 120 m³ / (120 m² · 2,70 m) = 0,37 dovrebbe essere sufficiente.

A proposito delle finestre

Le finestre di un edificio passivo devono soprattutto procurare la quantità d'energia solare necessaria a controbilanciare le perdite giornaliere di calore e, magari, qualche apporto solare in più. Per soddisfare questo requisito, le finestre degli edifici passivi dell'Europa centrale devono avere una trasmittanza termica U di 0,8 W/(m² K) e una trasmittanza solare totale g = 0,54. Un valore U di 0,8 W/(m² K) significa che, durante i 225 giorni del periodo di riscaldamento, per 1 m² di finestra, si perdono circa 67 kWh. Un valore g = 0,54 significa invece che i vetri delle finestre fanno passare circa il 54 % della luce incidente. Il bilancio energetico per 1 m² di finestra si presenta quindi così:

$$\text{Perdite di calore: } 0,8 \cdot 1,0 \cdot 84 = 67 \text{ kWh/(m}^2 \text{ a)}$$

dove:

0,8 è il valore U_w della finestra

1,0 è il fattore di riduzione

84 sono i gradi ore (in migliaia) riferiti al periodo di riscaldamento.

$$\text{Apporti lordi: } 0,45 \cdot 0,54 \cdot 370 = 90 \text{ kWh/(m}^2 \text{ a)}$$

dove:

0,45 è il fattore di riduzione

0,54 è la trasmittanza solare (valore g) del vetro

370 è la radiazione globale su superfici verticali durante il periodo di riscaldamento (kWh/m² a)

Gli apporti netti sono quindi: 90 - 67 = 23 kWh/(m² a) = 26% degli apporti lordi.

Diversa è la situazione in Italia: il periodo di riscaldamento è meno lungo, il numero medio dei gradi ore è di 60.000 e non di 84.000 come in Germania, e gli apporti solari sono più consistenti. Nell'Italia centrale, nel periodo di riscaldamento, gli apporti solari su superfici verticali esposte a Sud sono 520 kWh/(m² a), a fronte delle 370 della Germania.

Nell'Italia centrale, usando delle finestre con le stesse caratteristiche di quelle usate in Germania, queste ci procurerebbero apporti netti di 78 kWh/(m² a), ossia il 62% degli apporti lordi, come dimostra il seguente calcolo:

$$(0,45 \cdot 0,54 \cdot 520) - (0,8 \cdot 1,0 \cdot 60) = 78 \text{ kWh/(m}^2 \text{ a)}$$

Volendo ottenere apporti netti nella misura del 25-30 per cento di quelli lordi, una percentuale ragionevole, sarebbero già sufficienti finestre con un valore U_w = 1,5 W/m²K, come dimostra il seguente calcolo:

$$(0,45 \cdot 0,54 \cdot 520) - (1,5 \cdot 1,0 \cdot 60) = 36 \text{ kWh/(m}^2 \text{ a)} = 28\text{-}29\% \text{ degli apporti lordi.}$$

Finestre di un valore U_w = 1,5 W/(m² K) sono quindi già sufficienti a produrre, in inverno, un saldo energetico positivo, hanno inoltre anche un prezzo notevolmente

minore. Non ha quindi senso usare in edifici passivi italiani delle finestre con $U = 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$.

La materia è stata trattata dall'autore più esplicitamente nel recente libro "Edifici passivi. Standard – Requisiti – Esempi, Alinea Firenze 2002. € 22,00

Perugia, gennaio 2002

Dipl. Ing. Uwe Wienke, Architetto SIA