

2.4 Il coefficiente di trasmittanza termica U

Quando liquidi o gas a diverse temperature sono separati gli uni dagli altri da un elemento solido, si osserva uno scambio di energia che viene comunemente è chiamato trasmissione di calore.

Negli edifici, il transito di calore, avviene p. es. attraverso i muri esterni o le finestre dagli ambienti caldi (riscaldati) interni verso l'aria fredda esterna.

Attenzione: l'energia fluisce sempre dal lato a temperatura più elevata verso quello a temperatura più bassa. Si muove sempre il calore verso il lato freddo, non avviene mai che il freddo fluisca spontaneamente verso zone più calde.



Per questo si parla sempre di ponti termici (e mai di ponti di freddo o ponti frigoriferi), altrimenti si dà un'idea totalmente sbagliata!

Per misurare il transito di calore attraverso ogni elemento costruttivo si utilizza il cosiddetto coefficiente di trasmittanza termica, in breve il valore "U". Ancora si parla di questo valore in termini del vecchio valore "k", non più permesso. La sua unità di misura è Watt per metro quadro e Kelvin $[W/(m^2K)]$, che esprime quanta energia al secondo viene ceduta attraverso $1 m^2$ di elemento costruttivo per una differenza di temperatura fra dentro e fuori pari a 1 K. La trasmittanza non è quindi una grandezza caratteristica di un materiale, bensì di un elemento costruttivo.

La trasmittanza U di qualsiasi elemento si ottiene approssimativamente dividendo semplicemente la conducibilità termica del materiale edile per il suo spessore in [m] e prendendo il reciproco del risultato!

Sia dato un mattone di spessore 36,5 cm, avente una conducibilità termica molto bassa pari a $0,12 W/(mK)$; si ottiene quindi:

$$0,365 m : 0,12 W/(mK) = 3,042 (m^2K)/W$$

$$U = 1 : 3,042 (m^2K)/W = 0,33 W/(m^2K).$$

Sia dato ora un coibente di spessore 12 cm avente una conducibilità termica λ tipica di $0,04 W/(mK)$, da cui:

$$0,120 m : 0,04 W/(mK) = 3,000 (m^2K)/W$$

$$U = 1 : 3,000 (m^2K)/W = 0,33 W/(m^2K).$$

Il confronto mostra che un coibente di 12 cm di spessore presenta la stessa trasmittanza di un "buon" mattone di 36,5 cm di spessore.

Materiali edili e coibenti si possono naturalmente combinare insieme. Calcolando p. es. laterizio + coibente si ottiene:

$$3,042 + 3,000 = 6,042 (m^2K)/W$$

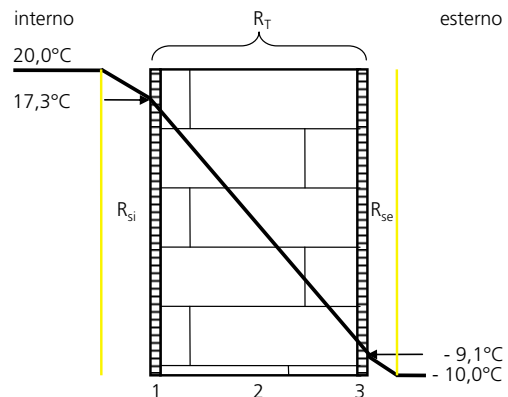
$$U = 1 : 6,042 (m^2K)/W = 0,17 W/(m^2K).$$

Anche per la trasmittanza vale quanto detto per la conducibilità termica: quanto più piccolo (basso) diventa questo valore, tanto migliore (più alta) sarà la coibentazione.

Per il **calcolo esatto della trasmittanza** occorre tuttavia prendere in considerazione la stratigrafia completa (p. es. anche l'intonaco interno ed esterno), come pure le cosiddette resistenze degli strati liminari (valori standard per lo scambio termico dall'aria interna all'elemento costruttivo e dall'elemento costruttivo, p. es., all'aria esterna).

Un esempio

Si voglia valutare la trasmittanza del seguente muro monolitico:



Stratigrafia muro esterno:

- 1 Intonaco di gesso: $0,015 m$; $\lambda = 0,70 W/(mK)$
- 2 Laterizio multifori alveolare: $0,365 m$; $\lambda = 0,30 W/(mK)$
- 3 Intonaco in calce-cemento: $0,020 m$; $\lambda = 1,00 W/(mK)$

La temperatura esterna vale $-10^\circ C$ e quella interna alla stanza $+20^\circ C$. L'elemento

Indicati per case in legno, applicazioni a vista. Per il bilam si incollano insieme dal lato liscio due tavoloni o travi a spigolo vivo essiccati, scelti secondo la rigidità e realizzati con incastri a cuneo.

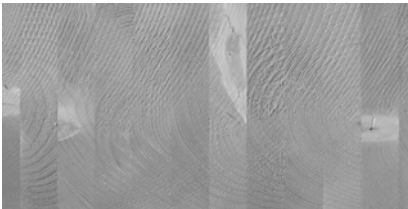
Per il trilam se ne mettono assieme tre. Il campo di applicazione è simile a quello del KVH®, ma perlopiù in realizzazioni a vista.

■ Travi incrociate

Indicate per case in legno, applicazioni a vista. Quattro quarti di trave prodotti da tronchi circolari vengono orientati secondo rigidità con il lato interno verso l'esterno ed incollati sotto pressione in maniera tale da lasciar un canale interno fra gli elementi. In questo canale, fra le altre cose, si possono far passare le condutture. Impiego in ogni campo costruttivo. Vantaggi: ottica rilassante, stabilità di forma e massima riduzione delle crepe.

■ Elementi in legno lamellare (legno BS "Brettschicht")

Indicati per case in legno, capannoni, arca-recci per i tetti, travi. Il prodotto più conosciuto consiste in listelli di tavole le cui superfici vengono incollate insieme sotto pressione, infine piallati e smussati da tutte le parti.



Vantaggi: oltre a grosse sezioni trasversali ed ampie campate, sono possibili anche forme dritte, ritorte e ricurve.

■ Travi composte da strisce di piallaccio (Parallam)

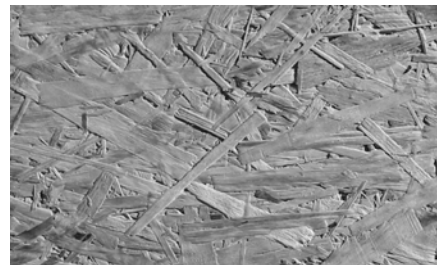
Indicate per case in legno, arca-recci per i tetti, travi. Strisce sottili di piallaccio in legno di conifera vengono incollate e pressate insieme parallelamente all'asse della trave, quindi se ne tagliano sezioni trasversali parziali. Questo derivato del legno in forma di travi viene impiegato analogamente al legno lamellare come travi portanti.

■ Travi a doppia T e ad I

Indicate per pareti, solai e tetti. I correnti (le "gambe" della doppia T) consistono in travi composte da strati di piallaccio incollati nello stesso verso delle fibre. L'elemento di unione in OSB (cfr. sotto) viene inserito ed incollato nelle scanalature tra i correnti. Per collegare in maniera efficiente due manufatti del legno si impiegano delle travi portanti ad I (→ pag. 58), perlopiù non a vista in pareti, solai e soprattutto tetti. Vantaggi: elevata portanza con basso peso, stabilità della forma ed intercapedini particolarmente larghe per la coibentazione, p. es. cellulosa.

■ Pannelli OSB

Indicati per fasciature nelle costruzioni ad intelaiatura in legno, tavolati per i tetti ed a vista ed anche per sottofondi. Si tratta di un pannello fabbricato a partire da trucioli lunghi speciali (Strands), da questo il nome OSB (= Oriented Strand Board).



Questi vengono incollati ed orientati negli strati più esterni parallelamente alla lunghezza dei pannelli e nello strato interno in direzione perpendicolare. Il prodotto prelaborato viene indurito mediante pressione e calore, tagliato nel formato desiderato ed infine climatizzato. Le possibilità di utilizzo (anche con scanalature e molle) sono molteplici: i pannelli OSB offrono un freno al vapore e possono essere impiegati anche come elementi decorativi nell'architettura da interni.

■ Pannelli in legno compresso MDF

Indicati per il rivestimento delle pareti esterne e per i sottotetti. Il "pannello in fibra a media densità" MDF viene fabbricato sottoponendo a calore e pressione fibre di legno, impiegando una minima percentuale di legante. Per l'impiego come pannelli

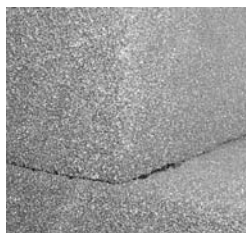
di protezione per la respirazione. Alternativa per la tenuta all'aria di finestre/porte sono trecce di canapa, di lana di pecora o di lino.

Lana di pecora

La lana, disponibile localmente oppure importata dalla Nuova Zelanda, viene lavata con sapone di Marsiglia e soda, trattata con sostanze anti-tarme ed anti-scarafaggi e filata meccanicamente per ottenere teli e feltri.

Coibente di derivazione naturale (poiché la materia prima è rinnovabile), la lana di pecora è adatta al riutilizzo. Non è smaltibile in discariche a causa dell'impregnamento in sali di boro. Questo coibente sensibile all'umidità e permeabile al vapore viene commercializzato sotto forma di feltri coibenti, materassini o lana sfusa da riempimento. Impiego dei materassini: nei tetti inclinati come coibentazione fra i travetti, nelle pareti esterne in montanti di legno e nelle tramezze a riempire le intercapedini. Impiego della lana da imbottitura: nelle fessure e nelle cavità. La lavorazione non presenta problemi.

Vetro cellulare



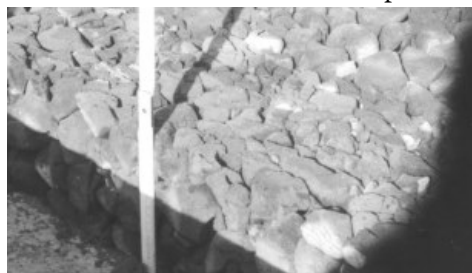
Le materie prime con cui viene realizzato il vetro cellulare corrispondono a quelle impiegate per la produzione del vetro (sabbia di quarzo, calcio, feldspato, soda e anche vetro usato). Si produce una massa di vetro fuso che viene quindi estrusa e macinata fino ad ottenere polvere di vetro. I pannelli coibenti vengono poi espansi mediante somministrazione di carbonio e successivo riscaldamento a circa 1.000°C.

Questo coibente di derivazione naturale, le cui materie prime sono ancora abbondanti, non è tuttavia adatto al riutilizzo: esso corrisponde alla classe di materiali edili A1 e deve essere smaltito in apposita discarica.

Il vetro cellulare è assolutamente insensibile all'umidità e costituisce una barriera al vapore praticamente impenetrabile.

Adatto particolarmente per elementi costruttivi sensibili all'umidità come p. es. tetti piani o elementi a contatto con il terreno. Lavorazione senza particolari difficoltà.

Un'alternativa un po' più economica a questi pannelli è la ghiaia di vetro cellulare (vetro espanso). Si tratta di un granulato prodotto da vetro riciclato: il vetro usato viene macinato fino ad ottenere farina di vetro a cui viene aggiunto un attivatore minerale. Un nastro di acciaio trasporta il tutto all'interno di un forno, da dove esce in forma di pannelli. A causa delle tensioni interne che avvengono in seguito al raffreddamento, il granulato di vetro cellulare si frantuma nella grana in cui verrà successivamente lavorato. La ghiaia di vetro cellulare viene impiegata primariamente come coibentazione perimetrale sotto i plinti di fondazione oppure in parete negli scantinati e come coibentazione di tetti piani.



Perciò p. es. sotto il plinto di fondazione, il granulato viene semplicemente gettato e compresso su un geotessuto. Gettate le fondamenta, si possono quindi evitare lo strato anticapillare, il magrone di sottofondazione o la cosiddetta fondazione continua.

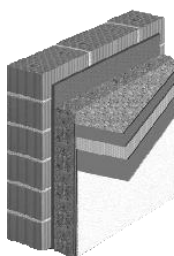
Tuttavia la conducibilità termica, circa 0,080 W/(mK), è il doppio peggiore (più alta) dei pannelli in vetro cellulare.

Coibenti sottovuoto - VIP

I pannelli isolanti sottovuoto (VIP) sono costituiti da un involucro ermetico ai gas (fogli multistrato sottovuoto ricoperti da uno strato in metallo vaporizzato) e da un nu-

coibentazioni successive degli edifici ed è in assoluto il più economico sistema di coibentazione della parete esterna.

Esso consiste in pannelli di materiale coibente che vengono semplicemente incollati direttamente e/o tassellati sulla muratura (nuova costruzione) o sull'intonaco esterno esistente (vecchia costruzione). Viene quindi



incassata la cosiddetta rete di armatura in malta sullo strato coibente, che ha la funzione di assorbire le tensioni di dilatazione ed offrire una base di appoggio per la posa dell'intonaco esterno.

Come dice già il nome, si tratta di un sistema coibente costituito da materiali di diversi produttori accostati gli uni sugli altri. Una posa accurata è indispensabile e dovrebbe essere realizzata soltanto da personale specializzato che offra anche le necessarie garanzie.

Coibenti indicati

La scelta dei materiali coibenti è molto ampia e viene dettata da ragioni di prezzo, da motivazioni tecniche e personali. Vengono prevalentemente impiegati:

- pannelli di polistirolo
- pannelli rigidi in schiuma minerale
- pannelli in fibra minerale
- pannelli di sughero
- pannelli in fibra di legno.

Vita media dei coibenti

Analisi condotte dal Fraunhofer Institut für Bauphysik (Istituto Fraunhofer di Fisica Edile) hanno fornito le prove di durata e di resistenza dei sistemi a cappotto. Su alcuni dei numerosi oggetti indagati sono stati individuati lievi danni relativi all'intonaco, imputabili soprattutto a pose dello stesso non a regola d'arte (scarsità di conoscenze riferite ai primi tempi di utilizzo dei sistemi a cappotto, intorno agli anni '70).

Dopo 15 anni, nel 1991 sono stati analizzati in dettaglio i valori di umidità relativa in due edifici residenziali costruiti nel

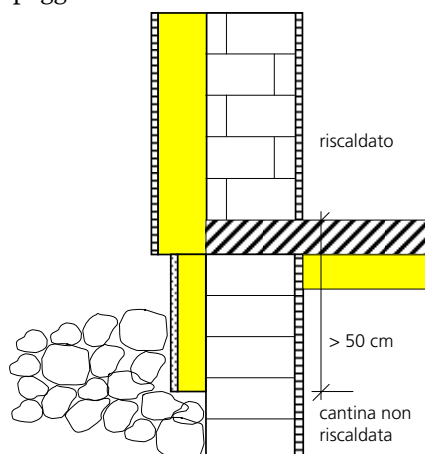
1976 a Brema e Francoforte con sistema a cappotto in polistirolo. I valori di umidità misurati nei pannelli coibenti sono risultati essere 80% sotto il valore per cui il materiale coibente viene classificato nella norma DIN come secco (umidità fisica standard).

Risultato: il sistema coibente era dopo 15 anni "più secco" di "secco".

La vita media del sistema coibente a cappotto corrisponde circa all'inalterabilità dell'intonaco esterno. La manutenzione consiste nella tinteggiatura dell'intonaco agli intervalli consueti. Le coibentazioni realizzate hanno già resistito più di 30 anni. Le ditte offrono una garanzia per i propri prodotti di 10 anni o più.

Conservazione durevole della muratura portante

Coibentare le pareti dall'esterno permette alla muratura portante di rimanere in un ambiente più protetto e più caldo. La soglia di formazione del ghiaccio viene confinata all'interno della coibentazione, la muratura rimane calda e si possono inoltre evitare ponti termici. In presenza di opere a regola d'arte si riducono a zero p. es. le dispersioni per ponti termici delle solette di calcestruzzo poggiate sulla muratura esterna.



In questa figura è mostrato chiaramente come si dovrebbe eseguire l'opera: il materiale coibente è posato con continuità per almeno 50 cm sotto il soffitto della cantina. Se invece il cappotto finisse all'altezza del

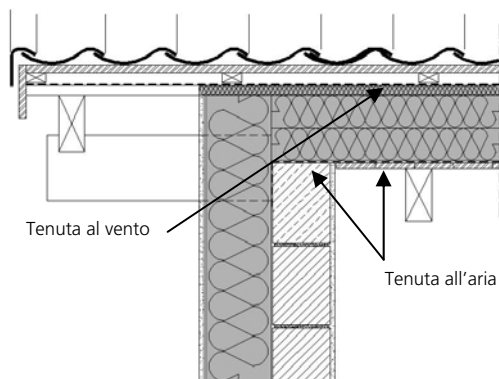
- cartone rinforzato con fibra di vetro
- freni al vapore adattativi
- nastro monoadesivo rinforzato da 10 cm impiegato soprattutto negli impianti di ventilazione,
- pannelli in derivati del legno (ad es. OSB) con linguette adesive sopra giunti ed attacchi,
- intonaci e pannelli di cartongesso.

Viceversa, una “tenuta al vento” impedisce correnti d’aria entranti dall’esterno nel coibente e da cui nuovamente fuoriescono. Essa funziona da strato protettivo per la coibentazione, poiché i materiali coibenti non sono ermetici né al vento, né all’aria. La tenuta al vento si trova nella zona esterna (fredda) della struttura del tetto ed ha il compito di impedire la penetrazione della pioggia o della neve.

Materiali indicati sono:

- pannelli di sottocopertura in fibra di legno.
- membrane sottotegola (s_d compreso fra 0,04 e 5,0 m) prevalentemente in polietilene.

Tutti i soffitti e le pareti di un edificio sono generalmente ermetici all’aria ed al vento. Questo è garantito del resto dagli intonaci interno ed esterno. Non ermetiche sono tuttavia tutte le strutture in legno, quindi in particolare il tetto. Nel seguente esempio di coibentazione sopra i travetti vengono mostrati entrambi i sistemi di tenuta:



Per le strutture in legno, e quindi per il tetto, si pone una questione: deve essere installata una barriera al vapore, un freno al vapore o nulla del genere?

La permeabilità, l’effetto frenante o di barriera per la diffusione si può descrivere con il valore s_d (“spessore dello strato di aria equivalente per la diffusione del vapore acqueo”).

La tabella mostra i valori s_d [in m] per i materiali da costruzione più comuni:

Materiali	μ	[m]	s_d [m]
tavolato in legno	40	0,024	0,960
fibre minerali	1	0,200	0,200
cartongesso	8	0,012	0,100
intonaco interno	5	0,015	0,075
fibra di legno con lattice	11	0,020	0,220
membrana sottotegola	150	0,0002	0,100
freno al vapore a base di carta	1.000	0,0023	2,300
freno al vapore in feltro	32.000	0,0003	9,600

Il valore s_d esprime la resistenza che un materiale edile oppone al passaggio di vapore. Moltiplicando il valore μ di un materiale per il suo spessore si ottiene s_d .

Valori limite per s_d :

- < 0,2 m: traspirante
- > 0,2 - 100 m: freno al vapore
- > 100 m: barriera al vapore.

Il criterio a cui attenersi è: progettare e costruire il più possibile in modo permeabile alla diffusione! Dovrebbe essere fondamentale posare i materiali concentrandosi sulla tenuta al vento ed all’aria, sebbene la tenuta all’aria possa essere sempre garantita da un (eventuale) freno al vapore.

stre basso emissive, con un buon $U_g = 1,10$ $W/(m^2K)$:

$$[1,2596 \text{ m}^2 \times 1,10 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}) + 0,6885 \text{ m}^2 \times 1,44 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}) + 4,56 \text{ m} \times 0,06 \text{ W}/(\text{mK})] : [1,2596 \text{ m}^2 + 0,6885 \text{ m}^2] = U_w = 1,36 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}).$$

Nelle condizioni poste, l'intero serramento raggiunge un valore di trasmittanza U_w poco sotto $1,40 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ - in definitiva, praticamente quasi solo il valore del telaio!

Ulteriori esempi di calcolo e suggerimenti per il calcolo del valore trasmittanza per le finestre si possono trovare alla pag. 190.

La temperatura media delle superfici circostanti comprese quelle riscaldanti all'interno di un ambiente è responsabile della sottrazione del calore alle persone e quindi del loro comfort.

La temperatura dell'aria e quella media delle superfici circostanti influiscono alla stessa maniera sulla sottrazione del calore. Pertanto, se una temperatura dell'aria di $20 - 22^\circ\text{C}$ viene ritenuta in generale confortevole, si presuppone anche che la tempera-

tura media delle superfici circostanti sia pressoché la stessa di quella dell'aria (\rightarrow pag. 11).

Qualora la temperatura della finestra fosse sensibilmente più bassa (di almeno 4°C) della temperatura dell'aria interna, caso frequente in inverno soprattutto in presenza di finestre altamente dispersive, una temperatura interna di 20°C può facilmente esser percepita come troppo fredda e deve conseguentemente essere aumentata per mantenere lo stesso comfort - aumentando tuttavia il consumo energetico!

Certamente non si può raggiungere un U_w per i serramenti di almeno $0,2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, ovvero dell'ordine degli altri elementi costruttivi opachi; è chiaro tuttavia che le finestre con vetri basso emissivi aventi U_w compresi fra $2,6$ e $3,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ non soddisfano più gli attuali requisiti di risparmio energetico.

Stato dell'arte sono già da diverso tempo finestre con U_w pari a $0,4 - 1,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.

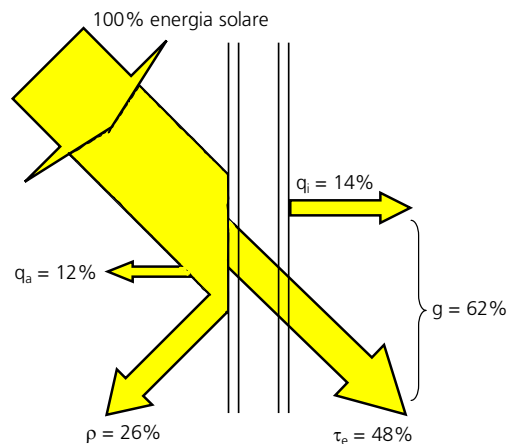
8.2 Grado di trasmittanza totale g

Le vetrate non presentano soltanto dispersioni di calore: esse permettono anche apporti di calore compatibili con il loro grado di trasmittanza. Il valore g , detto anche grado di trasmittanza totale, indica la porzione di irraggiamento solare che entra all'interno degli ambienti attraverso la vetratura e che d'inverno può essere sfruttata per riscaldare i locali interni.

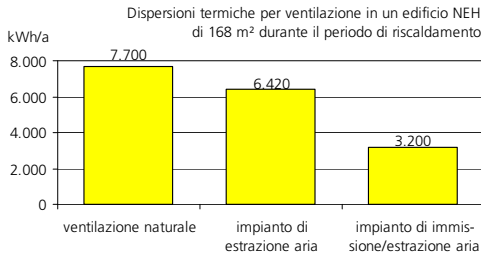
In questo esempio il valore del grado di trasmittanza totale vale $g = 0,62$, ovvero 62% . La determinazione del valore g avviene secondo quanto prescritto dalla EN 410 e si ottiene dal grado di trasmissione diretta τ_e e dal grado secondario di cessione del calore q_i (documentazione del produttore!).

Quanto più elevato è il valore g , tanta più energia entra in maniera gratuita nell'ambiente. Si dovrebbero raggiungere valori compresi fra 50 e 65% persino nelle vetra-

ture più basso emissive. È importante inoltre realizzare una buona protezione termica estiva per prevenire un eccessivo surriscaldamento della stanza retrostante, soprattutto sul lato sud.



- qualità dell'aria ambiente elevata e durevole
- comfort conseguentemente elevato
- risparmio energetico nella ventilazione.



Tutti gli inquilini sottolineano la buona e durevole qualità dell'aria ambiente nei loro appartamenti, sconosciuta nelle vecchie costruzioni. La ventilazione controllata negli appartamenti rappresenta una tecnica che trova impiego soprattutto nelle nuove costruzioni. Essa dovrebbe essere quindi un elemento costruttivo costantemente presente nella progettazione di ogni nuova costruzione e viene assolutamente consigliato, specialmente in presenza di un'elevata er-

meticità dell'involucro termico! Gli impianti di estrazione dell'aria sono lo standard minimo di comfort odierno, andando a far parte di ogni nuova costruzione.

Negli edifici costruiti secondo lo standard NEH (edificio a basso consumo energetico), i sistemi di rinnovo dell'aria con un efficiente recupero del calore sono consigliati; nelle case passive, invece, sono assolutamente necessari e si può anche prevedere l'impiego di uno scambiatore di calore aria-terreno aggiuntivo!

Se un tale sistema di rinnovo dell'aria viene "dimenticato", in un secondo momento si riesce ad installarlo con notevoli difficoltà!

Oggi ...

Le persone hanno bisogno di luce!

Appunto! È per questo che nella progettazione del duplex di 4 stanze a Milano abbiamo voluto prevedere ampie superfici finestrate. L'appartamento di circa 118 m² ha 2 bagni, una grande terrazza sul tetto esposta a sud-ovest.

... e domani!

Le persone hanno bisogno di luce e di aria!

Appunto! È per questo che nella progettazione del duplex di 4 stanze a Milano abbiamo voluto prevedere ampie superfici finestrate **ed un preparato impianto di ventilazione**. L'appartamento di circa 118 m² ha 2 bagni, una grande terrazza sul tetto esposta a sud-ovest.

Così dovrebbero essere gli annunci immobiliari

10 Standard costruttivi degli edifici

Non solo quando si leggono diverse riviste di architettura, ma anche durante le discussioni con gli "esperti" emerge una infinità di nomi per contraddistinguere gli edifici a risparmio energetico. Termini come "casa a energia minima", "casa energeticamente autarchica", "edificio a risparmio energetico", "casa eco-solare" o "edificio a zero energia" sono solo una piccola selezione di nomi, spesso fantasiosi. Tutti questi termini non hanno né una chiara validità oggettiva né individuano una specifica caratteristica effettiva di qualità. Per poter valutare e classificare un edificio in base al suo fabbisogno energetico, gli esperti europei si sono accordati su dei criteri univoci. Il criterio più importante per valutare la qualità di un edificio è il fabbisogno termico per riscalda-

mento per metro quadro di superficie utile ed anno. Esso rappresenta il fabbisogno necessario per fornire la prestazione energetica "ambiente caldo" avente come scopo il riscaldamento degli ambienti. Viene anche indicato con il termine 'fabbisogno di energia utile'.

Fabbisogno di energia utile (p. es. fabbisogno termico per riscaldamento)

Questo rappresenta l'energia che noi utilizziamo, ad es. il calore ambiente fornito dai caloriferi, la luce delle lampade, l'acqua calda sanitaria della doccia, il freddo generato dal frigorifero. L'energia utile è l'energia disponibile dopo l'ultimo stadio di trattamento tecnico! Il fabbisogno termico per riscaldamento, espresso in chilowattora per me-



Un edificio si definisce casa passiva quando è soddisfatta la condizione che il fabbisogno termico per il riscaldamento (energia utile per il riscaldamento ambiente) sia $< 15 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ ed al tempo stesso che il fabbisogno di energia primaria si mantenga $< 120 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$.

La corrente (l'elettricità) viene prodotta prevalentemente a partire da combustibili fossili, per giunta con un basso grado di efficienza. Questo comporta un elevato consumo di energia primaria, che in una casa passiva si deve cercare di mantenere il più basso possibile. L'introduzione del limite superiore presuppone quindi che anche in una casa passiva si debba ad esempio cercare di utilizzare la corrente in maniera efficiente mediante l'impiego di elettrodomestici e lampade a risparmio energetico.

Esempi di costruzioni

Soprattutto in centro Europa si contano numerose realizzazioni di case passive. All'indirizzo internet www.passivhausprojekte.de si trova la più grande banca dati, dove sono documentati solo in Germania più di 1.000 progetti di edifici costruiti secondo lo standard "Passivhaus". Qui di seguito un mini-estratto:

Casa plurifamiliare costituita da 3 unità abitative ed uno studio



Un edificio residenziale, oggetto di riqualificazione edilizia al di fuori della zona edificabile, è stato ristrutturato nel gennaio 2001 a Muatathal (CH), una località con condizioni climatiche alpine. La superficie abitativa complessiva delle 3 UA e dello studio è pari a $377,3 \text{ m}^2$.

Si tratta in definitiva di una costruzione massiva con coibentazione esterna intonacata e facciata ventilata. Sotto il plinto di fondazione è stato gettato uno strato di coibentazione costituito da 63 cm in schiuma di vetro mentre per la copertura, realizzata in maniera convenzionale, si è utilizzato l'eternit:

■ plinto: $U = 0,089 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

■ pareti esterne:

$U = 0,083$ e $0,138 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

■ tetto: $U = 0,095 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

■ finestre in legno:

$U_{w, \text{ tutte le finestre}} = 0,828 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

■ tenuta all'aria n_{50} : $0,21 \text{ h}^{-1}$ (misurato)

■ ventilazione: aggregati compatti di ventilazione con pompa di calore, $\eta = 75\%$ e scambiatore di calore aria/terreno

■ acqua calda sanitaria: 20 m^2 di collettori solari

■ corrente elettrica: disgiuntore di rete, elettrodomestici in classe di efficienza A, lampadine a risparmio energetico

■ fabbisogno termico per il riscaldamento: $13,3 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$

■ indice energetico di energia primaria: $86,9 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$.

Casa plurifamiliare costituita da 40 unità abitative



La società per l'edilizia abitativa di pubblica utilità GWG di Kassel (D) ha terminato nel 2000 la realizzazione di un progetto sovvenzionato da enti pubblici, costituito da ben 40 unità abitative.

Particolare rilievo è stato dato all'aspetto economico in quanto trattasi di edilizia popolare. I due edifici, ognuno a tre piani, sono stati costruiti in struttura massiccia (con

superfici radianti. Uno strato di fuliggine spesso anche solo 1 mm provoca una riduzione del fattore di utilizzo di ben 6%!

- la pressione dell'acqua nel sistema di riscaldamento deve essere controllata frequentemente e, se necessario, ne deve essere aggiunta ancora.

12.3.3 Riscaldamento moderno a legna

Perché a parte tutto non si potrebbe pensare ad un moderno riscaldamento a legna? Per ridurre l'effetto serra antropogenico (causato dall'uomo) servono alternative anche nel settore della termotecnica. Ad es. l'utilizzo del legno come combustibile può apportare un grosso contributo per concretizzare questo obiettivo. Infatti, rispetto ai sistemi di riscaldamento a gasolio o a gas, le emissioni di CO₂ (il gas maggiormente responsabile dell'effetto serra e quindi del riscaldamento del nostro clima) sono decisamente minori con il riscaldamento a legna.

Sicuramente, come già detto, la maggior parte delle moderne caldaie a gasolio e a gas presenti sul mercato si trova oggi ad uno stato dell'arte tale per cui saranno possibili ancora ben pochi miglioramenti. Per questo le caldaie a condensazione sono tra gli impianti più efficienti e con il maggior risparmio energetico.

Tuttavia, esse necessitano di materie prime fossili, non rinnovabili, che divengono via via sempre meno abbondanti e sempre più costose. Inoltre il metano viene pompato dal produttore al consumatore di mezzo mondo. Il greggio viene anch'esso trasportato mediante condotte o navi con un enorme dispendio di risorse.

Incidenti navali, perdite ed incendi portano regolarmente a catastrofi naturali. Gli Stati in cui petrolio e metano vengono estratti si trovano in zone instabili a livello politico, nelle quali spesso si generano tensioni che sfociano infine in guerre. Appare quindi problematico continuare a consumare illimitatamente gasolio e metano.

Una buona alternativa: il legno - fra l'altro energia locale e rinnovabile!

Il legno come combustibile

A seconda della tecnologia di combustione, oggi sono disponibili diversi tipi di combustibili originati da biomassa legnosa. Il contenuto energetico (potere calorifico inferiore) dipende fra l'altro dal contenuto di umidità e dalla natura del legno (legname di conifera o di latifoglie). La seguente tabella mostra vari tipi di conifere con un'umidità del 20% (essiccati all'aria dopo un periodo di stagionatura di almeno 2 anni):

	Ceppi di legno	Cippato	Pellets
Potere calorifico inferiore	3,9 kWh/kg	4,1 kWh/kg	4,9 kWh/kg
CO ₂ equiv.	6 g/kWh	35 g/kWh	41 g/kWh

Ceppi di legno/legna in ciocchi

I ceppi di legno provengono dall'industria del legno o della frutta e per l'utilizzo immediato si presentano sotto forma di combustibile spezzettato e già "pronto per la stufa", fornito in ciocchi da 25, 33, 50 e 100 cm di lunghezza. Nel caso di una stagionatura non adeguata possono spuntare dei funghi o può marcire la legna: in entrambi i casi si rovina il midollo del legno e si perde potere calorifico.



Cippato

Il legno proviene dal bosco o dalle imprese che lavorano il legno - carpenterie o segherie - come "prodotto di scarto" e viene spezzettato passando attraverso delle cippatrici. In base alla ÖNORM M 7133 sono possibili diverse dimensioni: per piccoli impianti di combustione è adatto solamente il cippato fine di sezione massima 3 cm². Oltre alla densità apparente (peso di un metro stereo alla rinfusa), anche il tenore idrico è un fattore importante: esso dovrebbe essere infe-

no di due kWh di calore). Le pompe di calore impiegate laddove non si effettuino sufficienti interventi di coibentazione e/o in presenza di elevate temperature di mandata per coprire il carico termico non possono sostituire le caldaie a gasolio, a metano o a pellets, né da un punto di vista economico né da quello ecologico!

Tenetevi lontani dalle pompe di calore se ristrutturare l'impianto termico in edifici non coibentati: è meglio se si investono tutti questi soldi per intervenire sulla coibentazione.



E non va dimenticato l'approntamento di acqua calda sanitaria durante il periodo di riscaldamento e durante la stagione estiva! In questo caso si necessitano almeno 70°C di temperatura di mandata per riscaldare un accumulo a 60°C. Pertanto il coefficiente di lavoro va letteralmente in crisi se la temperatura del terreno o dell'acqua freatica a 10°C dev'essere innalzata di ben 60 K.

Confronto fra sistemi di riscaldamento in vecchie costruzioni

Per poter analizzare la situazione nelle vecchie costruzioni, vengono confrontati sette esempi in cui si assume un carico termico di 14 kW in un tipico edificio monofamiliare non ancora coibentato ed un impianto di riscaldamento regolato per avere una temperatura di mandata di (soli) 70°C.

Appare quindi chiaro che (in vecchie costruzioni non coibentate) tutti e 3 i diversi tipi di pompa di calore non hanno costi di gestione annuali migliori, ma al contrario comparabili con quelli di caldaie a gasolio, a metano o a pellets. Rispetto invece ai costi di investimento richiesti, è evidente a tutti anche senza calcoli di ammortamento che una pompa di calore non è quasi per niente vantaggiosa, e non di rado gli interessati lo scoprono troppo tardi, così il locale tecnico super moderno diventa un "luogo abituale" dove si angustiano i tecnici che di volta in volta vengono fatti chiamare:

Sistema di riscaldamento	Costi di esercizio €/a	Costi di investimento €
1: pompa di calore per impianti con circuito Sole	2.030	20.500
2: pompa di calore aria/acqua	2.350	14.000
3: pompa di calore aria/acqua ad alta temperatura	2.270	19.200
4: caldaia a gasolio a bassa temperatura	2.320	9.600
5: caldaia a gas a condensazione	2.100	8.000
6: caldaia a pellets	2.195	14.100
7: riscaldamento a corrente elettrica	3.800	

Edifici di nuova costruzione o vecchi edifici ben coibentati

Sarebbe anche sbagliato confinare la pompa di calore in un angolo "a consumare corrente elettrica". In condizioni di contorno ottimali, essa rimane sicuramente un'alternativa concorrenziale alle caldaie - ma in nessun modo molto migliore o più ecologica!

In Germania è stata effettuato un esperimento in cui si sono misurate complessivamente 110 pompe di calore di 7 produttori diversi con potenza termica compresa fra 5 e 10 kW alimentate a corrente elettrica ed installate in nuovi edifici monofamiliari.

Le pompe di calore geotermiche hanno raggiunto un coefficiente di lavoro medio

di 3,7. La percentuale di calore prodotto per l'approntamento di acqua calda era intorno al 15% con una temperatura di mandata di 55°C. Il rimanente 85% era invece utilizzato per il riscaldamento degli ambienti con una temperatura di mandata compresa fra appena i 35 e i 45°C.

Per quanto riguarda le pompe di calore aria/acqua, invece, il coefficiente di lavoro medio non superava 3,0 e nelle pompe ad acqua freatica si attestava intorno a 3,5. Quest'ultimo valore rimaneva decisamente sotto le aspettative. Una ragione per questo è sicuramente l'elevato consumo di corrente elettrica delle pompe di prelievo dei pozzi, che danno chiaramente un contributo

re ed i singoli corpi scaldanti non devono essere chiusi. Poiché questo però non avviene nella prassi, il bilanciamento idraulico viene effettuato solo nella condizione più critica, ovvero nella situazione di massimo carico termico per cui tutte le superfici scaldanti vengono alimentate.

Se viceversa un impianto di riscaldamento è idraulicamente ben bilanciato, si hanno numerosi vantaggi: può funzionare alla pressione ottimale e può perciò venir percorso da basse portate. Per questo si hanno bassi costi di investimento per la pompa di circolazione e ridotte spese elettriche e termiche durante il funzionamento.

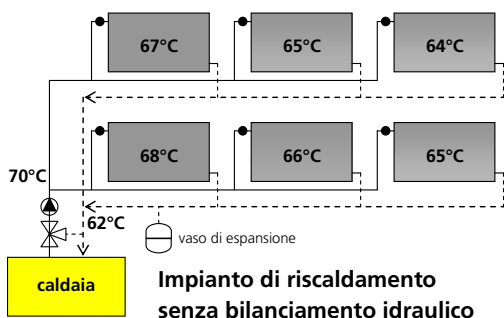
Vecchie costruzioni

Anche in un impianto esistente un bilanciamento idraulico è possibile e senz'altro raccomandabile, specialmente se sono presenti uno o più dei peggioramenti appena elencati.

Vi sono ulteriori segnali dai quali si può facilmente dedurre se l'idraulica funziona oppure no. Sicuramente non funziona se:

1. non vi è quasi differenza fra temperatura di mandata e di ritorno ($< 10\text{ K}$), invece dei 20 K di progetto (\rightarrow pag. 164), ma la pompa va e

2. i corpi scaldanti sono più o meno ugualmente caldi da sopra a sotto:



Perciò la pompa trasporta calore che non viene assolutamente ceduto (non utilizzato) alle stanze, la caldaia presenta dei frequenti ON/OFF e cresce il consumo di gasolio o metano sebbene non vi sia da coprire alcun fabbisogno termico.

3. la pompa funziona allo stadio massimo
4. il termostato della caldaia rimane fisso sopra ai 75°C ,

5. si imposta una curva di riscaldamento fortemente pendente (> 1.4).

Se i corpi scaldanti o un intero circuito di riscaldamento non diventano proprio caldi, la prassi ci insegna che le cause per questa distribuzione insufficiente di calore vengono normalmente individuate in pompe spesso troppo piccole o impostate troppo basse, temperature di mandata troppo basse oppure addirittura caldaie sottodimensionate. E subito vengono proposte le "soluzioni": aumentare la potenza della pompa e/o della temperatura di mandata! ... con le conseguenze fatali qui sotto descritte:

- rumori fastidiosi dati da potenze della pompa troppo elevate
- per questo motivo, alti consumi elettrici
- riduzione del fattore di utilizzo della caldaia
- peggiorata regolabilità dei termosifoni mediante valvole termostatiche
- perciò elevato consumo termico e dunque elevati costi per il riscaldamento
- ed infine una cessione del calore sempre disomogenea.

Tali situazioni nelle costruzioni esistenti costituiscono purtroppo la norma e devono, quindi, essere eliminate il prima possibile!

4 passi per il bilanciamento idraulico

In base a studi empirici si può affermare, che mediante il bilanciamento idraulico si può risparmiare fra il 5 e il 15 % dell'energia finale. Si deve provvedere affinché tutte le superfici scaldanti generino la stessa resistenza e siano equamente percorse dal flusso d'acqua, indipendentemente da dove si trovino questi corpi scaldanti all'interno dell'edificio. Questo può avvenire mediante l'utilizzo di organi di regolazione come ad es.:

- valvole termostatiche preimpostabili
- sistemi di chiusura del ritorno
- regolatori automatici di tratta agenti sulla pressione differenziale o sulla portata.

sto. Anche questi aspetti comportano che i modelli siano il più possibile alti ed affusolati.

6. Gli accumuli devono essere ben coibentati con continuità. Una proprietà caratteristica è il valore k totale [W/K], con il quale si tiene già conto della superficie dell'accumulo: per questo si devono confrontare solo accumuli con lo stesso volume. Essi dovrebbero avere un valore k minore di 2 W/K. Buoni valori di coibentazione vengono raggiunti coibentando tutto intorno all'accumulo per almeno 10 cm di spessore senza avere dispersioni termiche alla flangia. Un ottimo accumulo con ad es. 1,5 W/K permette di risparmiare, in confronto ad un normale accumulo con 3 W/K, circa 450 kWh di energia all'anno considerando una differenza di temperatura di 35 K, che corrisponde ad una superficie aggiuntiva di pannelli solari pari a 1,5 m² (quindi a costi addizionali). Conviene quindi di più investire i propri soldi in una buona coibentazione dell'accumulo!

Materiale di cui è costituito l'accumulo

Oltre ad accumuli in materiale plastico si trovano anche accumuli smaltati o in acciaio inox (V2A o V4A). Quest'ultimi sono più leggeri e non necessitano di molta manutenzione ma per questo sono costosi ed esiste il pericolo di corrosione nel caso di acqua molto clorata. Nel caso di V2A può essere già sufficiente una concentrazione di 50 mg/l, mentre nel caso di acciaio V4A ne occorrono 125 mg/l. Se invece sono smaltati, su di essi è presente anche un anodo di magnesio (manutenzione!) oppure un cosiddetto anodo a corrente esterna.

Nuovi concetti di accumuli

Questi prevedono l'impiego, già descritto nel Capitolo 14, di accumuli Puffer, che esistono spesso come accumuli in acciaio (accumuli a pressione) o anche come accumuli in materiale plastico senza pressione.

Oltre all'approvvigionamento di acqua calda sanitaria (sicuro da legionella), oggi soprat-

tutto per gli edifici NEH sono richiesti anche impianti per l'integrazione al riscaldamento durante le stagioni intermedie.

Esempio accumulo 'Tank-in-Tank' (Jenni)

Esso consiste in una combinazione di Puffer e di accumuli per acqua calda. Nella parte superiore calda del Puffer è integrato un piccolo accumulo per acqua calda, la cui superficie funge da scambiatore di calore e che in alcuni modelli si estende fino in basso. Questo tipo di accumulo è particolarmente adatto per l'impiego in impianti di approvvigionamento acqua calda sanitaria senza e con integrazione al riscaldamento. Grazie al sistema di immagazzinaggio, le tubazioni e la regolazione diventano molto semplici.



I generatori di calore (caldaie, collettori) e le utenze (circuiti termici, ACS) lavorano sullo stesso Puffer. Il sistema di riscaldamento è collegato una volta al Puffer nella parte superiore, effettuando un eventuale postriscaldamento dell'acqua calda. La zona centrale può invece essere utilizzata per incrementare la temperatura del ritorno dell'acqua di sistema. Infine in basso si trova lo scambiatore di calore per il trasferimento dell'energia solare. L'interno dell'accumulo per acqua calda viene riscaldato attraverso le pareti del proprio contenitore.

Esempio accumulo con lancia di stratificazione

Il calore solare viene trasferito in questo caso all'acqua di sistema mediante uno