

CENTREDIL – ANCE Lombardia
Centro Regionale Dei Costruttori Edili Lombardi



BREVIARIO DEL RISPARMIO ENERGETICO IN EDILIZIA



A cura di:
Rodolfo Brusoni
Giulio Brusoni

Avvertenza

Si tratta di un documento riservato. Nessuna parte di esso può essere riprodotta, inserita all'interno di un sito Internet, trasmessa in qualsiasi forma o tramite qualsiasi supporto (meccanico fotocopiatura o altro), senza autorizzazione scritta da parte di Centredil - ANCE LOMBARDIA.

Sono trascorsi poco meno di cinque anni dalla data della ratifica del Protocollo di Kyoto da parte dell'Italia; l'esame dei risultati raggiunti dal Paese nella direzione del risparmio energetico e della riduzione dei gas climalteranti appare ancora tutt'altro che tranquillizzante. In base ai dati ufficiali, le emissioni di gas serra nel 2004 hanno registrato un preoccupante aumento del 13%, a fronte di un impegno di riduzione, entro il 2012, del 6,5%; il divario tra gli impegni di riduzione assunti e l'entità effettiva delle emissioni si è dunque notevolmente ampliato, superando la quota del 20%. Gli aumenti più consistenti di emissioni di gas serra dal 1990 al 2004 in Italia hanno riguardato il settore dei trasporti (con un aumento del 27,5%) ed il settore della produzione di energia termoelettrica (cresciuto del 17%), ma anche quello civile, per il quale l'aumento è stato pari al 10,6%. Si sono invece sostanzialmente allineati agli obiettivi di riduzione delle emissioni di gas climalteranti i settori dell'industria manifatturiera e delle costruzioni, rispetto ai quali si rileva un calo delle emissioni nel periodo indicato pari al 3,8%.

Nonostante il risultato parzialmente incoraggiante, l'attività edilizia – per il suo enorme peso produttivo e alla luce degli imponenti volumi di crescita che hanno interessato il settore nell'ultimo decennio – rimane certamente uno dei comparti industriali potenzialmente a più alto impatto per l'ambiente. Al di là delle emissioni in atmosfera e dei consumi energetici diretti determinati dagli interventi e dalla produzione dei materiali da costruzione, il settore edilizio è indirettamente alla base di qualsiasi tipo di strategia finalizzata alla riduzione dei consumi del settore civile: gli edifici che compongono gli insediamenti umani sono oggi chiamati con forza sempre maggiore a garantire elevate prestazioni dal punto di vista della qualità dell'abitare, ma parallelamente anche buone performances ambientali, all'insegna dell'eco-efficienza, soprattutto per quanto concerne il fabbisogno termico per il riscaldamento invernale, il consumo di energia per il mantenimento del comfort nella stagione estiva, la copertura del consumo di energia elettrica ed acqua calda sanitaria, l'illuminazione degli interni. Aspetti, questi, che per un patrimonio edilizio costituito in larghissima misura da manufatti in parte obsoleti e non particolarmente efficienti dal punto di vista ambientale rappresentano voci sempre più importanti tra i numerosi "sprechi" energetici che caratterizzano il nostro Paese.

Rispetto alla razionalizzazione dei consumi legati all'utilizzo degli edifici, l'Italia ha recentemente messo in atto un sistema normativo e di incentivazione molto avanzato, che tuttavia necessita ancora di essere reso pienamente operativo per divenire del tutto efficace. La recente entrata in vigore del D.Lgs. 311/2006, che è andato ad aggiornare la disciplina dell'efficienza energetica in edilizia contenuta nel D.Lgs. 192/2005 in attuazione della Direttiva 2002/91/CE, stabilisce il punto di avvio di una nuova politica di intervento nel settore edilizio, imponendo limiti più stringenti ai fabbisogni termici medi dei fabbricati ed introducendo, in

un'ottica di trasparenza, l'obbligo della certificazione energetica degli immobili, condizione indispensabile per orientare le scelte dei consumatori verso soluzioni più valide dal punto di vista energetico.

Non da oggi il sistema associativo dei costruttori si è fatto carico del problema, promuovendo sperimentazioni (sia in laboratorio che in cantiere) al fine di acquisire elementi e informazioni che tengano conto di tutti i fattori in gioco (dalle caratteristiche energetiche all'impatto acustico, nonché delle ricadute dal punto di vista economico). È auspicabile che il legislatore, dal canto suo, tenga conto delle numerose esperienze fin qui effettuate sia in Italia che all'estero, introducendo nelle norme una logica di gradualità. Una gradualità che accompagni il settore verso lo sviluppo di un mercato dell'edilizia sostenibile, analogo a quello che troviamo in altri contesti europei forse più attenti alle istanze dell'uso razionale delle risorse ambientali e con una tradizione bioedile ormai consolidata.

In quest'ottica è necessario sostenere e promuovere criteri di premialità e misure di incentivazione coerenti e realmente incisive. La recente Legge Finanziaria 2007, che prevede sgravi fiscali a favore degli interventi di riqualificazione energetica del patrimonio esistente, l'introduzione del cosiddetto "Conto Energia", che rende più appetibile la predisposizione di tecnologie solari fotovoltaiche, così come alcune misure premiali predisposte a livello locale (con la previsione di sgravi fiscali e bonus volumetrici), vanno certamente nella direzione giusta. Vi è però un rischio che si profila all'orizzonte, con riferimento all'attuazione delle politiche per il risparmio energetico in Italia, dopo anni di sostanziale immobilismo: quello che, sull'onda dell'entusiasmo per questa nuova stagione di rinascimento delle istanze ambientali, prenda piede una sorta di "federalismo energetico", foraggiato dal protagonismo degli enti locali, dal loro desiderio di farsi precursori di politiche particolarmente ambiziose di razionalizzazione energetica. Il rischio è quello di un'attuazione a geometria variabile delle disposizioni nazionali, e conseguenti disparità da regione a regione, o addirittura da comune a comune; uno scenario nel quale, ad un dispendio di energie e risorse pubbliche, si accompagnerebbe un caos normativo difficilmente comprensibile dagli operatori.

Auspichiamo che il problema della razionalizzazione dei consumi energetici nel settore delle costruzioni avvenga in maniera ragionata, senza demagogiche e penalizzanti "fughe in avanti" e all'interno di un quadro normativo fatto di certezze. I costruttori, ai quali questo "breviario" è dedicato, si fanno promotori di queste istanze, nella convinzione che il futuro vedrà emergere con sempre maggiore forza le costruzioni ad elevata efficienza energetica.

*Il Presidente del
Centredil – ANCE Lombardia
Giuseppe Colleoni*

INDICE

1. PREFAZIONE	8
1.1 ATTUALITA' DELL'ARGOMENTO.....	8
1.2 L' EDILIZIA ITALIANA	8
1.3 AMBITO ED OBIETTIVI DELL'OPERA.....	9
1.4 IMPOSTAZIONE DELL'OPERA.....	9
2. LE GRANDEZZE IN GIOCO: DISPERSIONI TERMICHE	11
2.1 GENERALITA'	11
2.2 L'IMPIANTO TERMICO	11
2.3 LE DISPERSIONI.....	12
2.3.1 <i>Le dispersioni: teoria</i>	12
2.3.2 <i>Le dispersioni termiche per trasmissione</i>	12
2.3.3 <i>La trasmittanza</i>	13
2.3.4 <i>La resistenza</i>	13
2.3.5 <i>La conduttività</i>	14
2.3.6 <i>Resistenze liminari</i>	15
2.3.7 <i>Le dispersioni nella realtà edilizia</i>	15
2.3.7.1 Valutazione della trasmittanza U delle pareti.....	15
2.3.7.2 Valutazione dei materiali: conduttori, isolanti.....	16
2.3.8 <i>Gli isolanti: considerazioni tecnico – economiche</i>	18
2.3.9 <i>Le finestrate</i>	18
2.3.10 <i>I ponti termici</i>	20
2.3.10.1 Definizione.....	20
2.3.10.2 Rassegna.....	20
2.3.10.3 Entità delle perdite provocate dai Ponti Termici	21
2.3.10.4 La correzione dei Ponti Termici.....	21
2.3.11 <i>Dispersioni e consumi di energia primaria: EPI</i>	22

3.	DISPERSIONI TERMICHE: LE PARTI EDILIZIE	23
3.1	GENERALITA'	23
3.2	LA SCHEDA STRUTTURA	23
3.3	IL PROBLEMA DELLA CONDENSA E IL DIAGRAMMA DI GLASER	25
3.4	PARETI OPACHE VERTICALI MONOSTRATO E PLURISTRATO	26
	3.4.1 <i>Pareti stratificate</i>	27
	3.4.2 <i>Pareti monostrato (omogenee, portanti isolanti)</i>	28
	3.4.2.1 In laterizio.....	28
	3.4.2.2 In blocchi di calcestruzzo di argilla espansa (Leca) ^R	30
	3.4.2.3 In blocchi di cemento cellulare autoclavato (Gasbeton) ^R	30
	3.4.3 <i>Altre pareti opache verticali</i>	31
	3.4.4 <i>Altre soluzioni: il sistema a cappotto esterno</i>	31
3.5	PARETI OPACHE ORIZZONTALI: IL PRIMO E L'ULTIMO ORIZZONTAMENTO	32
	3.5.1 <i>Il primo solaio</i>	33
	3.5.1.1 Isolamento esterno (all'intradosso del solaio).....	33
	3.5.1.2 Isolamento interno (all'estradosso del solaio).....	34
	3.5.2 <i>L'ultimo solaio</i>	35
	3.5.2.1 Caso della copertura piana impermeabilizzata.....	35
	3.5.2.2 Caso del sottotetto non praticabile	35
	3.5.2.3 Caso di una mansarda: isolamento delle falde.....	36
	3.5.3 <i>LE FINESTRATURE</i>	36
4.	L'IMPIANTO TERMICO	40
4.1	GENERALITA': LA CATENA DEI RENDIMENTI, LE INDICAZIONI DILEGGE	40
4.2	IL GENERATORE E LA FONTE DI ENERGIA	42
	4.2.1 <i>Teleriscaldamento</i>	42
	4.2.2 <i>Cogenerazione</i>	42
	4.2.3 <i>Solare termico</i>	42
	4.2.4 <i>Pompe di calore</i>	43
	4.2.5 <i>La caldaia</i>	43
4.3	LA REGOLAZIONE - LA RETE DI DISTRIBUZIONE	47
4.4	TERMINALI: RADIATORI, TUBI A PAVIMENTO	47

5. IL D.Lgs. 192/05 ED IL D.Lgs. 311/06	49
5.1 AMBITO, CAMPI DI APPLICAZIONE (ART. 3).....	49
5.2 L'ATTESTATO DI CERTIFICAZIONE ENERGETICA (ART. 6, D.LGS 192/05) E L'ATTESTATO DI QUALIFICAZIONE ENERGETICA.....	51
5.2.1 <i>Tempistica prevista</i>	52
5.2.2 <i>Procedura di certificazione energetica e di qualificazione energetica</i>	52
5.3 LA CLAUSOLA DI CEDEVOLEZZA, IL RUOLO DELLE REGIONI	53
5.4 QUADRO DEGLI ADEMPIMENTI E DELLE RESPONSABILITA' (ART. 15).....	53
5.5 CONTENUTI TECNICI PRESCRITTIVI	54
5.6 SCALE DI RIFERIMENTO: IL METODO CASACLIMA	60
5.7 I METODI DI PROGETTO E VERIFICA	63
5.7.1 <i>Metodo generale</i>	63
5.7.2 <i>Metodo semplificato</i>	63
5.7.2.1 <i>Commento</i>	65
5.8 SCHEMATIZZAZIONE DEI I METODI DI PROGETTO E VERIFICA	67
5.9 OBBLIGHI DIVERSI, ENERGIE RINNOVABILI: QUESTIONI APERTE	69
6. EDIFICI PLURIFAMILIARI MULTIPIANO	71
6.1 PROPOSTA PER VALUTARE IL PESO DELLE DISPERSIONI, PER POTER ORIENTARE IL NOSTRO INTERVENTO.....	71
6.2 VALUTAZIONE DELLO STRATO ISOLANTE DELLA PARETE CIECA VERTICALE	75
6.3 VALUTAZIONE DELL'ISOLAMENTO DEL SOLAIO DI SOTTOTETTO	78
6.4 L'IMPIANTO	79
7. EDIFICI UNIFAMILIARI.....	80
7.1 LA PARTE IMPIANTISTICA	82
8. PONTI TERMICI: VALUTAZIONI E CORREZIONI	83
8.1 LA TRASMITTANZA LINEARE	84

1. PREFAZIONE

1.1 ATTUALITA' DELL'ARGOMENTO

Lo spunto occasionale del presente lavoro è stato suggerito dall'introduzione nel panorama normativo di settore, del D.Lgs. 192/05, che ha sostituito la precedente L.10/91 in materia di contenimento di consumi energetici.

La convinzione che lo ha originato tuttavia, è che siamo in presenza non di una evoluzione graduale, ma di qualcosa di diverso, infatti ormai la questione energetica ha un rilievo quasi quotidiano.

Un sintomo significativo del fatto che siamo sulla soglia di un "salto" tecnico-economico viene dal fatto che, oltre alla presenza di settori politico-culturali che spingono per riduzioni drastiche dei consumi energetici (settori che esistono da tempo, e che ora riscuotono naturalmente un consenso generalizzato), si affaccia alla ribalta una nuova categoria di produttori edilizi alternativi (per esempio nel settore delle costruzioni in legno) che propongono soluzioni "forti" in termini di concreta offerta industriale.

1.2 L' EDILIZIA ITALIANA

Riguardo a questi nuovi obiettivi l'edilizia italiana si trova in una situazione non particolarmente favorevole:

- va detto che tradizionalmente in Italia la casa è concepita in termini "mediterranei": idealmente l'utente (il committente) la concepisce "in pietra" ed eterna: il problema del freddo come condizione costruttiva determinante è sentito forse solo in montagna. E' piuttosto nei paesi anglosassoni che, senza pregiudizio per il legno e materiali simili e con minori ambizioni di durata, la casa è sentita prima di tutto come protezione dal freddo. Ciò non può non aver condizionato profondamente il modo italiano di costruire: all'estero la voce "isolamento" produce incentivi ben maggiori che da noi;
- la struttura in cemento armato (la soluzione più diffusa, utilizzata non appena le dimensioni dell'edificio eccedano quelle per l'unifamiliare) pur avendo grandissimi vantaggi, non facilita le cose dal punto di vista dell'isolamento;

- la situazione contingente della normativa vede leggi (L. 10/91, D.Lgs. 192/05 e D.Lgs. 311/06) che, congruentemente con l'avanzare delle conoscenze tecnico-scientifiche, sono diventate via via più complesse; la redazione del progetto tecnico, da sempre riservata allo specialista termotecnico, è praticabile solo con programmi di calcolo sofisticati e spesso non "trasparenti". Il rischio per il costruttore, per non dire l'abitudine corrente, è quello di delegare alla cieca la materia al termotecnico che, pur restando una figura chiave, sconta spesso il fatto di un'origine dedicata più al calcolo dell'impianto che alla elaborazione delle parti edili (si ricordi che in origine la parcella del tecnico è proporzionale al costo dell'impianto, con un implicito disincentivo alla minimizzazione dell'insieme). Infine, la scarsa leggibilità degli elaborati dei suddetti programmi incoraggia tutti a restare nel proprio ristretto ambito specialistico. Non va dimenticato da ultimo il salto (grande) fra il progetto cartaceo ed il cantiere di costruzione: salto che solo una robusta competenza e presenza dei direttori tecnici può controllare.

1.3 AMBITO ED OBIETTIVI DELL'OPERA

Il presente manuale si rivolge alla categoria dei costruttori edili ed intende essere un contributo ad una corretta conoscenza e coscienza della questione, in vista di una giusta assunzione di responsabilità in materia, nella fiducia che da questo possano scaturire notevoli risultati, considerando la grande energia e capacità di innovazione degli operatori del settore.

1.4 IMPOSTAZIONE DELL'OPERA

Si è voluto porre a base dell'opera:

- **la massima accessibilità di linguaggio**, che consenta la comprensibilità più estesa; lo scopo di questo lavoro è di far comprendere l'abc della materia anche a chi oggi se ne disinteressa completamente. Sono escluse quindi trattazioni teoriche complesse, privilegiando l'aspetto applicativo in senso quasi intuitivo. Considerando l'ampia letteratura in materia, l'esposizione è in una ottica di base; in particolare, i valori riportati sono da intendersi di prima approssimazione, sufficiente comunque a mettere al riparo da possibili errori o mistificazioni non infrequenti;

- **una corretta visione della interrelazione dei vari fattori**, e della loro incidenza sul risultato. Lo schema concettuale dei fenomeni termici, che può sembrare complesso se non se ne conosce la grammatica di base, risulta alla fine assai logico; ed è una logica che l'impresario non può ignorare;
- **una chiara indicazione delle responsabilità e dei ruoli.**
Chi definisce il progetto "esecutivo" dell'opera ed i suoi contenuti? L'architetto? Il progettista strutturale? Il termotecnico? L'ufficio acquisti dell'impresa? Sembra ovvio che il risultato debba venire da una integrazione dei vari attori, comunque insostituibili. Il "costruttore" ha comunque la responsabilità globale, ora esaltata dalla nuova legge. Ha inoltre, inevitabilmente e pesantemente, la responsabilità del "dopo". A lui compete necessariamente la scelta fra varie opzioni, la valutazione economica ed applicativa dei prodotti impiegati, la verifica del raccordo armonioso fra le progettazioni specialistiche. Solo quando potremo parlare di una chiara coscienza e cultura in questa materia, per il risparmio energetico in Italia si schiederanno nuovi orizzonti.

Rodolfo e Giulio Brusoni
Pavia, marzo 2007

2. LE GRANDEZZE IN GIOCO: DISPERSIONI TERMICHE

- i protagonisti del risparmio energetico
- vocabolario e grammatica della dispersione del calore negli edifici
- esposizione teorica

2.1 GENERALITA'

I due protagonisti del risparmio energetico sono l'involucro dell'edificio e l'impianto termico: dal primo dipendono le dispersioni, il secondo è quello che le compensa. L'obiettivo generale perseguito dalle norme è il contenimento del consumo energetico. Occorre quindi considerare due ordini di fattori: minimizzare il calore che bisogna fornire (pari alla somma delle dispersioni termiche) e massimizzare l'efficienza con la quale lo si fornisce.

A questo punto è necessario fornire una definizione di DISPERSIONE TERMICA: un edificio la cui temperatura interna sia superiore a quella esterna produce infatti delle dispersioni di calore che bisogna compensare perché l'interno dell'edificio resti alla stessa temperatura. Dimensionalmente le dispersioni di calore si misurano in Watt W (una volta, in Kcal/ora). Esse costituiscono l'argomento di questo capitolo.

2.2 L'IMPIANTO TERMICO

Per compensare le dispersioni di calore occorre fornire energia mediante l'impianto di riscaldamento, che sta all'edificio come il motore all'automobile. Anche il prodotto dell'impianto termico ha ovviamente le dimensioni di una potenza (la potenza dell'impianto), parimenti misurata in Watt W.

Come nel motore di un'automobile, solo una parte dell'energia spesa ha un effetto utile; un'altra parte, tutt'altro che insignificante, viene consumata inutilmente. Si definisce con ciò il concetto di rendimento dell'impianto:

$$\eta = \text{potenza (calore) fornita all'involucro} / \text{potenza consumata}$$

E' ovvio che l'evoluzione tecnica ha portato questo rendimento dai bassi valori storici (per il vecchio camino si parla del 15%) a valori oggi assai elevati. Ma il rendimento finale dipende, come vedremo, da una catena di componenti, ognuno dei quali ha un proprio rendimento, che diminuisce quello globale: la questione ha un peso notevole ed ovviamente il D.Lgs. 192/05 si occupa attentamente dell'argomento, come si vedrà oltre.

2.3 LE DISPERSIONI

2.3.1 *Le dispersioni: teoria*

Le dispersioni nell'edificio sono essenzialmente di due tipi:

- **DISPERSIONI PER VENTILAZIONE:** esse sono costituite dal calore che occorre fornire all'aria (fredda), che viene introdotta, per riscaldarla a temperatura ambiente; dopo essere stata riscaldata l'aria viene espulsa per effettuare il "ricambio d'aria" e nuova aria deve essere introdotta e riscaldata. L'entità di questa dispersione negli edifici attuali è minoritaria, intorno al 25% del totale, ed è in prima battuta fissa, poiché la norma considera fissi i ricambi orari (0,5 volumi/ora). In realtà il ricambio d'aria è abbastanza aleatorio (pur essendo una funzione essenziale), a meno che ci sia un impianto di Ventilazione Meccanica Controllata (VMC).

Non si può astenersi da un cenno anche fugace agli impianti di VMC, il cui impiego è sempre positivo: a prima vista, infatti, un'assenza di ventilazione (non aprire mai le finestre), potrebbe far pensare ad una possibile riduzione delle dispersioni, appunto perché si risparmiano le dispersioni per ventilazione. In realtà, prescindendo dalla qualità dell'aria che ne risulterebbe – cosa in realtà assurda – il conseguente immediato aumento dell'umidità interna porterebbe fatalmente a formazioni di condensa sulle pareti più fredde; seguirebbe l'insorgenza di muffe (con le note conseguenze) ed una riduzione assai sensibile dell'isolamento delle pareti stesse (effetto "vestito sudato"); il bilancio energetico peggiorerebbe, oltre al corollario dei suddetti inconvenienti, che risultano anche peggiori della perdita energetica. In verità, un'aria non troppo umida preserva anche l'isolamento.

Quindi queste perdite non sono riducibili, salvo che con i sistemi (più o meno sofisticati) di recupero di calore tramite scambiatori, che comportano sempre un sistema di controllo di entrata e uscita dell'aria: si ricorre ad essi in genere negli edifici di classe A, o cosiddetti "ad energia zero". Questo argomento esula dall'ambito del presente lavoro, quindi si considereranno queste perdite come fisse.

- **DISPERSIONI PER TRASMISSIONE:** sono quelle che si verificano attraverso le superfici che delimitano l'involucro: queste superfici sono un po' il "vestito" del nostro edificio, e le relative dispersioni sono grandemente variabili; ridurle è l'obiettivo principale dei nostri sforzi.

2.3.2 *Le dispersioni termiche per trasmissione*

Quando una superficie separa due ambienti a temperatura diversa, si ha un passaggio di calore (un tempo misurato in kcal/h, più modernamente in Watt, ove $1 \text{ kcal/h} = 1,162 \text{ W}$); è molto intuitivo

comprendere che esso sarà direttamente proporzionale alla estensione della superficie (S , in m^2) alla differenza delle temperature in gioco (t_1-t_2), ed infine ad un fattore proprio di quel tipo di superficie, che riassume la sua attitudine a trasmettere il calore: esso si chiama **trasmissione**, il cui simbolo è: U .

Ecco quindi che abbiamo **la legge generale** delle dispersioni per trasmissione:

$$\text{Dispersioni (W)} = S (m^2) \times (t_1-t_2) (K) \times U (W/m^2K).$$

Ne consegue che, come vedremo, dovremo prestare tanto più attenzione laddove le superfici interessate siano grandi, dove il salto di temperatura sia maggiore, e dovremo occuparci bene di questa trasmissione U , che in sostanza ci dice se abbiamo vestito l'edificio con una camicetta o con una giacca a vento.

Nota: le temperature sono indicate in gradi Kelvin (simbolo K) come indicato nei D.Lgs. 192/05 e D.Lgs 311/06, che sono diversi dai gradi centigradi (simbolo $^{\circ}C$) correntemente utilizzati (quelli partono dallo zero assoluto); le differenze di temperatura sono comunque uguali.

2.3.3 La trasmissione

La trasmissione esprime in termini specifici (cioè per ogni m^2 di superficie, per un salto termico di $1^{\circ}C$) l'attitudine di una superficie a trasmettere il calore. Essa si rappresenta solitamente con il simbolo U e si misura in

W/m^2K :

$$U = [W/m^2K];$$

essa rappresenta il flusso termico che passa per un m^2 di superficie, per un salto di temperatura di $1 K$.

Le superfici che possono delimitare un ambiente sono però di svariati tipi: omogenee (ovvero fatte di un unico materiale, come un muro pieno) oppure composte (o "stratificate"); opache (le pareti ed i solai in genere) o trasparenti (le finestre, che sono un oggetto molto speciale).

Nel comportamento complessivo della superficie hanno una parte essenziale le caratteristiche specifiche dei materiali (isolanti o meno) che la compongono, o quelle dei suoi vari strati; occorre quindi approfondire questo tema.

La trasmissione ha una grande variabilità a seconda della costituzione della superficie, ed è essenziale per il calcolo delle dispersioni; risulta quindi molto utile il fatto che essa si possa determinare in modo preciso con calcoli di per sé elementari.

2.3.4 La resistenza

L'inverso della trasmissione si chiama resistenza: essa ha simbolo R e rappresenta, appunto, al contrario della trasmissione, la "resistenza" che una superficie oppone al passaggio del calore:

$$R = 1/U \text{ ovvero } U = 1/R.$$

E' intuitivo che quando un flusso di calore attraversa una parete ed essa è composta da diversi strati (in numero di n), ognuno di essi deve essere attraversato dal flusso di calore, ed ognuno di essi costituisce un ostacolo a questo flusso.

Dunque il comportamento di ognuno di questi strati nei confronti del passaggio del flusso di calore sarà riassunto dalla sua propria resistenza R (di solito, quando sono molteplici, le resistenze si indicano minuscole: r).

E' intuitivo pensare che la resistenza globale della parete sia la somma delle resistenze degli strati attraversati:

$$R = r_1 + r_2 + r_3 + r_4 + \dots + r_n.$$

La trasmittanza della parete sarà l'inverso della resistenza totale, cioè l'inverso della somma delle resistenze parziali.

Questa relazione si esprime quindi nel seguente modo:

$$U = 1/R \quad U = 1/ (r_1 + r_2 + r_3 + r_4 + \dots + r_n)$$

Il problema tecnico si sposta quindi a determinare le resistenze dei vari strati.

2.3.5 La conduttività

Com'è facile intuire, a determinare la resistenza R di ogni strato intervengono lo spessore dello strato e la qualità specifica del materiale costituente nei confronti della trasmissione del calore

La formula tecnica è molto semplice per qualsiasi strato:

$$r = s / \lambda$$

ove "s" è lo spessore dello strato in metri (la resistenza è ad esso direttamente proporzionale: infatti, intuitivamente, più lo strato è spesso più ostacola il passaggio di calore) e la lettera greca "λ" rappresenta un coefficiente tipico del materiale, detto conduttività o conduttanza (in W/m²K).

Essa esprime il calore lasciato passare da uno strato di un m² di quel materiale, spesso 1 metro, con un salto termico di 1 K, ed è un po' "parente" della U, che indicava l'attitudine a lasciar passare il calore: più il materiale è isolante, più λ sarà piccola, mentre più la U sarà piccola, più la parete sarà isolante; a conferma di ciò lo troviamo al denominatore nella formula della "r".

Abbiamo quindi, sostituendo alle r la formula suddetta:

$$U = 1/ (\text{somma di } s_n / \lambda_n)$$

2.3.6 Resistenze liminari

Anche se la parete è omogenea, cioè c'è un solo strato, tecnicamente si considera un'altra resistenza (o meglio altre due) oltre alla propria; con essa si simboleggia il fatto che, poiché la parete separa i due ambienti, l'aria stessa, da una parte e dall'altra, indugia e costituisce una specie di cuscinetto isolante: si parla di resistenza liminare interna e resistenza liminare esterna; i valori di queste, determinati dall'esperienza, sono definiti e pressoché costanti nei vari casi (pareti verticali od orizzontali nelle varie condizioni); vedasi oltre nella "scheda struttura".

Si è detto che le dispersioni per trasmissione sono le perdite di calore attraverso le superfici che racchiudono la nostra casa: bisogna ridurle il più possibile. Si è visto che la prestazione di ciascuna di queste superfici è determinata dalla sua trasmittanza U: è questa che quindi dobbiamo minimizzare.

Occorre quindi essere in grado di valutare questa trasmittanza nella pratica costruttiva: è questo l'argomento di quanto segue.

2.3.7 Le dispersioni nella realtà edilizia

2.3.7.1 Valutazione della trasmittanza U delle pareti.

La tabella qui di seguito riporta una rassegna dei valori di trasmittanza, in termini sommari, dal minimo al massimo, delle pareti edilizie.

tabella 1: trasmittanza media delle pareti

tab. λ		TRASMITTANZA media DELLE PARETI (in W/m ² K)					
6,00		3,00	2,50	1,40	0,70	0,46	
meno isolante	finestra allum. vetro semplice	finestra allum. vetro camera	parete 40 cm calcestru zzo	tamponamento a cassetta non isolato	tamponamenti a cassetta + isolante o tipo poroton	pareti: obiettivo D.Lgs. 192/05	più isolante
				(anni '50, '60)	(legge 10/91)	2007	

La trasmittanza, come detto, dipende dagli spessori e dalle caratteristiche dei materiali, in particolare degli isolanti. Per conoscerli meglio, vediamo una rassegna dei materiali in riferimento alla loro qualità più o meno isolante.

2.3.7.2 Valutazione dei materiali: conduttori, isolanti

Rassegna dei materiali in relazione alla loro conduttanza “ λ ”, ovvero, come detto, alla loro attitudine a trasmettere il calore o meno.

NOTA: i valori di “ λ ” non sono rigorosamente costanti: oltre a variare (poco) con la temperatura, essi variano significativamente con il contenuto di umidità (vestito asciutto/vestito bagnato) e con la densità del materiale; quindi, per ogni valore, andrebbero precisate le condizioni. I valori esposti sono indicativi, in prima approssimazione:

tabella 2 valori della conduttività nei materiali

tab. 2 valori della conduttività nei materiali														
	conduttori		isolanti (pesanti)				portanti		isolanti leggeri (leggeri)					
	acciaio	calcestruzzo	mattoni pieni	materiali porosi- alveolari (800 kg/mc)	calcestruzzo di argilla espansa	calcestruzzo cellulare leggero	calcestruzzo cellulare autoclavato	sughero	lana di roccia	lana di vetro	polistirene esp.	polistirolo – esp.	poliestere esp.	Poliuretano espanso estruso
λ	52	1,66	0,63	0,26	0,25	0,2	0,14	0,045	0,038	0,038	0,04	0,04	0,04	0,032

Leggiamo e commentiamo la tabella.

Poniamoci l’obiettivo di avere di una parete con una trasmittanza $U = 0,46 \text{ W/m}^2\text{K}$ (indicato dalla D.Lgs. 192/05, come vedremo, per il 2007; dal 2008, esso si riduce a 0,37); ipotizzando in astratto una parete composta di un solo strato di uno solo di questi materiali, quale spessore dovrebbe avere la parete?

Poiché in ogni caso avremo il contributo delle resistenze liminari R_{lim} (in prima battuta, $r = 0,123 + 0,043 = 0,17$), si ha:

$$\begin{aligned} \text{obiettivo: } U &= 0,46 \\ \text{quindi} \\ R_{tot} &= 1/U = 1/0,46 = 2,17 \end{aligned}$$

R del materiale (che dobbiamo ottenere) = $2,17 - 0,17 = 2,00$

dato il “ λ ” del materiale come indicato nella tabella 2, si ricava lo spessore necessario:

tabella 3: confronto dei materiali

tab. 3 spessore necessario per ottenere $U = 0,46 \text{ W / m}^2 \text{ K}$												
conduttori	isolanti (pesanti)				portanti				isolanti leggeri (leggeri)			
calcestruzzo	mattoni pieni	laterizi porosi-alveolati	calcestruzzo di argilla espansa	calcestruzzo cellulare	calcestruzzo cellulare autocl.	sughero	lana di roccia	lana di vetro	pvc espanso	polistirene estruso (pelle)	poliuretano	
(in metri)	3,32	1,26	0,52	0,50	0,40	0,28	0,09	0,076	0,076	0,08	0,08	0,064
(cm)	332	126	52	50	40	28	9	7,6	7,6	8	8	6,4

La tabella traduce in concreto la formula $R = s/\lambda$, la quale ci dice che, per ottenere un certo risultato in termini di isolamento, abbiamo teoricamente due strade:

- possiamo ottenerlo con qualsiasi materiale, aumentandone lo spessore a dismisura;
- possiamo ottenerlo con spessori ridotti, adottando materiali “isolanti” (λ molto piccola).

Quando c'erano a disposizione solo pochissimi materiali (praticamente solo la muratura di mattoni o pietra ed il calcestruzzo) era praticabile solo la prima strada; e praticamente, poiché c'era un limite agli spessori (magari si arrivava ad 1 metro e più nei castelli, ma nelle case coloniali lo standard era 25 cm), c'era un limite alla resistenza termica e quindi alla trasmittanza.

Anche oggi il limite allo spessore si fa sentire; ma poiché disponiamo di materiali isolanti è teoricamente possibile, mantenendosi in spessori “normali”, arrivare a resistenze elevatissime, quindi trasmittanze tendenti a zero: per esempio, con una parete di 25 cm tutta di poliuretano espanso ottengo una R di 8, cioè una $U = 0,125$: pari ad 1/11 di quella di una parete a cassetta degli anni '60.

Questo è il motivo fondamentale che apre la strada ai cultori della casa “a consumo energetico zero”; ovvero resta calda solo per il sole che entra dalle finestre ed il fiato degli abitanti.

Ovviamente dal dire al fare c'è molto di mezzo: ci sono fattori di costo che bisogna ottimizzare e vincoli costruttivi con cui bisogna fare i conti.

Il principale problema è che il primo requisito degli edifici è di portare e proteggere gli abitanti e tutto quello che hanno, con una certa stabilità e durata; ed uno scatolone di polistirolo non soddisfa questi requisiti.

In sostanza il primo requisito degli edifici è quello strutturale e purtroppo i materiali strutturali e gli isolanti sono due categorie praticamente opposte: vedasi il comportamento dell'acciaio e del calcestruzzo.

Dovremo quindi fare i conti con la presenza più o meno rilevante di parti costruttive che non isolano affatto (la struttura), e con il fatto che materiali più isolanti sono anche molto delicati. Questo è il motivo per quando il progettista strutturale ed il termotecnico lavorano ignorandosi a vicenda (fatto non infrequente) predispongono un'ottima partenza per mettere nei guai il direttore dei lavori e preparare un cattivo risultato.

2.3.8 Gli isolanti: considerazioni tecnico – economiche

Come già visto in tab.3, c'è una vasta scelta di materiali isolanti. Essi sono da paragonare a parità di funzione applicativa: nell'ambito di ciascun materiale i più costosi, perché più densi, sono sempre quelli atti a sopportare il carico di un pavimento e dei suoi sovraccarichi (con deformazioni accettabili), poi nell'ordine quelli a pannelli semirigidi o rigidi ma comunque leggeri (applicazione tipica quella in intercapedine, addossati ad un paramento murario) ed infine i materassini da stendere semplicemente (di solito si utilizzano, su un solaio non praticabile).

All'interno della categoria degli isolanti, a guidare la scelta saranno diverse considerazioni (applicative, di curabilità,...). Ma dal punto di vista puramente tecnico/economico, risulta dalle formule suesposte che il rapporto costo/beneficio di un isolante è chiaramente espresso dal rapporto fra il costo unitario dell'isolante (€/m^3) e la trasmittanza specifica dell'isolante. Questa nota merita la giusta considerazione: infatti, i prezzi degli isolanti variano in relazione al costo della materia prima e dei processi di produzione, non ai rispettivi valori della conduttanza λ . Per analisi più specifiche in materia, vedasi al cap. 6, (edifici multipiano, pareti stratificate, tab. 17).

2.3.9 Le finestrate

Osservando la tabella delle trasmittanze, si nota subito che i due valori maggiori hanno come protagonista il vetro, cioè le finestre: la finestra di alluminio con vetro semplice ($U = 6,0$) e la finestra con vetrocamera ($U = 3,0$): in pratica un valore *quattro volte maggiore* di quello di una parete "standard" [questo sia ai tempi pre-legge 373/76, quando le finestre erano a vetro semplice ($U = 6$) ed i tamponamenti non erano isolati ($U = 1,4$), sia in regime di legge 10/91, con il vetrocamera ($U = 3,0$) ed il tamponamento isolato ($U = 0,7$)].

In pratica, un metro quadro di finestra consuma come 4 metri quadri di parete. Perché?

La cosa non stupisce molto, se pensiamo (considerando la formula che fornisce la resistenza di uno strato) che ciò che separa interno da esterno è, nel caso del vetro semplice, una lastra che ha uno spessore di 4mm (un tempo, anche 2 o 3 mm): la conduttanza “ λ ” del vetro non è quella di un isolante soprattutto nel caso di spessori di 3 mm.

Infatti nella tabella che segue, che riporta i diversi valori sia per il vetro semplice che per il vetrocamera si vede che la r dello strato di vetro è minima, ed in realtà quel che “isola” sono le resistenze liminari, che compaiono una volta nel caso del vetro semplice ($r = 0,123+0,043$) e praticamente due volte nel caso del vetrocamera, appunto per la presenza della lama d'aria intermedia ($r = 0,183$).

tabella 4: trasmittanza delle vetrate

tab. 4	vetro semplice			vetrocamera 4-9-4		
	spessore	λ	r	spessore	λ	r
elemento	m.			m.		
strato liminare interno			0,123			0,123
vetro	0,004	1.00	0,004	0,004	1.00	0,004
intercapedine aria 9 mm				0,009		0,183
vetro				0,004	1.00	0,004
strato liminare esterno			0,043			0,043
R=somma r			0,17			0,357
$U = \lambda / \text{somma } r$			5,88			2,80

Nel secondo caso (vetrocamera) la trasmittanza risulta pressoché dimezzata, essenzialmente per merito della camera d'aria interposta; questo è da tener presente quando si pensa alla possibilità di ulteriori diminuzioni di questo valore.

In materia di serramenti un cenno va fatto al loro “contorno” (il telaio fisso e quello mobile): anche qui siamo in presenza di un elemento separatore di pochissimi cm (circa 5), costituito di un materiale che nel caso del legno è ancora un discreto isolante, nel caso dell'alluminio certamente no, il che comporta un handicap ai fini dell'isolamento.

In ogni caso l'elemento vetro e l'elemento telaio sono sostanzialmente diversi, e poiché i profili del telaio sono fissi pur con diverse dimensioni e quindi diverse superfici del vetro e della finestra, le procedure di calcolo contenute nella legge implicano un calcolo *ad hoc* serramento per serramento, in virtù della diversa percentuale telaio/vetro.

Infine un cenno al fatto che ogni finestra o portafinestra implica costituzionalmente una serie di elementi assai critici al contorno, dei quali riparleremo al punto seguente.

2.3.10 I ponti termici

I ponti termici non sono “elementi costruttivi” ma sono parti costruttive che per natura non si prestano ad essere “coperti”; per riprendere l’analogia “umana” tutti noi andiamo in giro anche d’inverno, magari in pelliccia, ma con la faccia e le mani nude.

Il ponte termico è quindi un ospite quasi fisso, sebbene indesiderato. Fra l’altro questo ospite indesiderato è tanto frequente nella “tradizionale edilizia italiana” o meglio nell’attuale tecnica costruttiva italiana, quanto spesso serenamente ignorato; ed è responsabile di molti guai secondari, anche seri.

2.3.10.1 Definizione

Si è visto che alcuni materiali costruttivi (il cemento armato, l’acciaio) non isolano praticamente nulla: bene, laddove la barriera fra interno ed esterno sia costituita solo da essi, caldo e freddo passano a piacere; questo è un ponte termico. L’esempio più semplice è costituito da un pilastro passante. Oppure: si è visto che l’isolamento è generalmente proporzionale allo spessore della parete; ora, laddove vi siano parti ove lo spessore del materiale risulti molto ridotto, di nuovo passa un flusso di calore spropositato, per esempio attraverso le finestre. Si hanno anche ponti termici costituiti non da un elemento separatore termicamente scadente, ma dovuti semplicemente alla forma geometrica dell’edificio, laddove ad una determinata superficie interna corrisponde una superficie esterna molto maggiore, per esempio in uno spigolo.

2.3.10.2 Rassegna

La rassegna dei ponti termici è purtroppo ampia, soprattutto negli edifici intelaiati:

- **nelle pareti verticali:** già si è detto del pilastro, nonché degli spigoli d’angolo. Le travi in cemento armato ribassate, ed ancor più quelle in spessore: esse formano una fascia che porta direttamente il freddo per una notevole superficie interna di soffitto; meno problematiche sono le semplici corree. La situazione peggiore, presente del resto pressoché in ogni edificio, si riscontra nel balcone realizzato con soletta in cemento armato in continuità con la trave di bordo ed il solaio interno. E’ questo un esempio di come la situazione strutturale (ottima in questo caso) sia in conflitto diretto con quella termica. Lo stesso vale per le gronde in cemento armato e simili aggetti;
- **nelle strutture orizzontali** il solaio stesso (ipotizzato in laterocemento) comporta per natura una serie di ponti termici: le pignatte laterizie (assimilabili a grossi mattoni forati con camere d’aria), infatti, sono intervallate da travetti di cemento armato passanti, in comunicazione con la caldaia superiore. La trasmittanza dell’insieme non è

soddisfacente, perciò laddove il solaio costituisce confine fra l'ambiente caldo e l'esterno (primo solaio su cantinato o pilotis, solaio sottotetto, solaio di falda) risulta giocoforza necessario isolare;

- **nelle finestre:** le finestre sono una fonte primaria di ponti termici. Si è già visto poco sopra che i componenti tipici della finestra, ossia il vetro ed il telaio, sono molto disperdenti; qui ci occupiamo delle parti “di contorno” che comunque una finestra sempre comporta. Tutto il perimetro del telaio, le cosiddette “mazzette”, sono un ponte termico (in effetti, spesso si tratta di un mattone da 12 cm e basta); un ponte termico perfetto risulta essere il davanzale o la soglia (marmo, cemento) magari in continuità con il controdavanzale. Anche il sottofinestra, che pure non è, a rigore, un ponte termico, è comunque un'altra occasione di dispersioni abnormi. Il massimo si raggiunge forse con il cassonetto della tapparella; per tutti, si rinvia per i dettagli e le modalità di correzione di tutti gli elementi della rassegna al cap. 8 (ponti termici).

2.3.10.3 Entità delle perdite provocate dai Ponti Termici

Il ponte termico è fonte di diversi guai: poiché la sua capacità di isolare è molto bassa, la temperatura della sua faccia interna risulta anch'essa molto bassa; e spesso essa si abbassa fino alla soglia della temperatura di rugiada dell'umidità interna, allora la faccia interna si bagna, dando il via alla formazione di muffe con tutto quel che ne consegue.

A parte ciò, il contributo negativo dei ponti termici al consumo energetico è rilevante.

Si veda l'esempio “standard” riportato al cap. 6 (edifici pluripiano) tabella 17: da essa risulta una incidenza dei ponti termici del 20 % sul totale delle dispersioni di una facciata tipo.

2.3.10.4 La correzione dei Ponti Termici

Per ovviare agli inconvenienti dei ponti termici la soluzione è di rivestirli, avendo poco spessore a disposizione, con materiali di spiccate proprietà isolanti, sicché anche con spessori ridotti di isolante (2-4 cm) si ottenga una buona resistenza termica e quindi una bassa trasmittanza.

Il problema è che questi isolanti sono così fragili e deperibili che non si possono esporre a vista, né intonacare tali e quali. Questo è il motivo per cui nella pratica “corrente” ci si limita al rivestimento con un pannello di fibra di legno mineralizzata, sotto l'intonaco; discontinuità di questo genere possono indurre tensioni nell'intonaco e vanno dunque previste; il contributo isolante di tale soluzione, come si vedrà al cap. 8, è comunque molto modesto.

Sistemi più corretti teoricamente, come quelli spesso riportati nelle pubblicazioni, introducono fattori di sovracosto ed aumenti di spessore che diventano assai pesanti: può essere, a questo punto, che la correzione dei ponti termici risulti onerosa quanto tutto il resto dell'isolamento, o più.

E' ragionevole pensare che sia qui la fonte del contrasto fra quanti sostengono che l'aumento delle capacità di isolamento abbia una incidenza di costo irrisoria (perché calcolano questo sovracosto semplicemente su un aumento percentuale del costo degli isolanti impiegati) e la pratica costruttiva, ove risulta che per superare certe soglie occorre "reinventare" soluzioni costruttive in una serie di punti critici, passando da sistemi collaudati e codificati nella pratica costruttiva a soluzioni nuove da sperimentare, con divari di costo significativi o difficilmente valutabili.

Per dare un'idea del divario fra teoria e pratica su questo tema, riportiamo la definizione che il D.Lgs. 192/05 dà di ponte termico corretto (cfr. allegato A, punto 26) "quando la trasmittanza termica della parete fittizia (quella corrispondente al ponte termico) non supera per più del 15% la trasmittanza della parete corrente": cosa che non accade praticamente mai.

Vi sono poi casi disperati (come il balcone) che in alcuni contesti hanno portato altrove o alla eliminazione stessa dell'oggetto (restano da valutare le reazioni del mercato) o ad un approccio costruttivo totalmente differente (il balcone come una parte staticamente a sé stante).

Nel rimandare al cap. 8 per una trattazione più approfondita, ricordiamo altresì che per la verifica del D.Lgs. 192/05 e D.Lgs 311/06, se ci si vuole avvalere del metodo semplificato, la verifica del limite di trasmittanza della parete opaca (sia verticale, sia orizzontale) deve tener conto dei ponti termici esistenti (vedi successivo cap. 5)

2.3.11 Dispersioni e consumi di energia primaria: EP_i

Finora si è parlato di dispersioni in termini specifici ed istantanei: la trasmittanza è la potenza termica dispersa da 1 m^2 di superficie disperdente, con un salto di temperatura di 1 K, nell'unità di tempo.

Il valore principale che interessa è però il consumo di energia primaria, ovvero in pratica di combustibile.

Si veda al cap. 5: la legge parla di " EP_i " che viene chiamato "indice di prestazione energetica", e corrisponde in sostanza al consumo di energia primaria per una stagione invernale, ovvero nel tempo, per un m^2 dell'edificio in oggetto.

Per passare dalle dispersioni ai consumi occorre moltiplicare le trasmittanze delle varie pareti per le rispettive superfici e salti di temperatura, e moltiplicare per il tempo (in modo da passare da una potenza ad una energia).

Poiché il salto di temperatura varia di giorno in giorno nella stagione, si ricorre ad un parametro detto "gradi giorno" che rappresenta il prodotto dei giorni di riscaldamento per i rispettivi salti di temperatura.

Ottenuto così il totale dell'energia dispersa, occorrerà dividerlo per il rendimento dell'impianto per ottenere l'energia primaria consumata dall'edificio nella stagione. Dividendo questo valore per la superficie utile degli alloggi dell'edificio, si ottiene finalmente l'indice EP_i .

3. DISPERSIONI TERMICHE: LE PARTI EDILIZIE

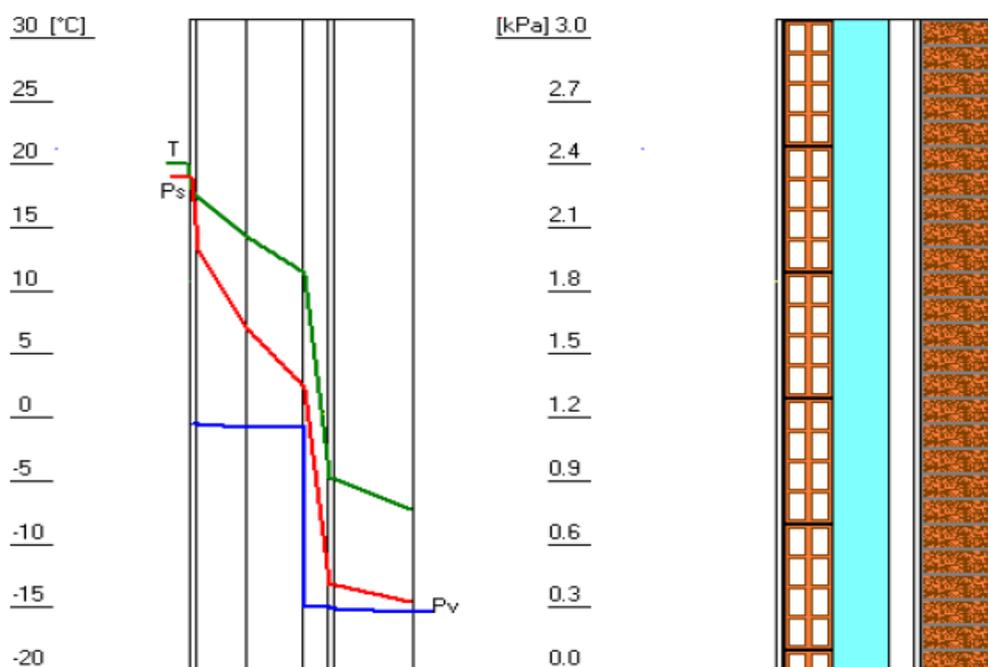
3.1 GENERALITA'

Per quanto riguarda la trasmissione di calore, in generale il comportamento di una parete che separa due ambienti a diversa temperatura, alla luce di quanto sopra, è sintetizzato dalla sua trasmittanza U (che, ripetiamo, alla luce del D.Lgs. 192/05 e D.Lgs. 311/06 non dovrebbe superare lo 0,46 - 0,37).

3.2 LA SCHEDE STRUTTURA

Nel procedere al calcolo, in realtà i fenomeni risultano più complessi, ed il loro comportamento nella relazione accompagnatoria della denuncia secondo il D.Lgs. 192/05 e D.Lgs. 311/06 viene esposto nelle "schede struttura" (ove per "struttura" si intende una parete separante due ambienti) di cui riportiamo sotto un esempio. Il caso è quello assai comune di una parete di tamponamento di un edificio intelaiato: da sinistra a destra: intonaco interno, mattone forato 8 cm, camera d'aria, isolante, mattone pieno da 12, intonaco esterno.

fig. 1: scheda struttura parete di tamponamento



Caratteristiche della struttura: T_i [°C]= 20.00 T_e [°C]= -8.00 U.R.(i) [%]= 50 U.R.(e) [%]= 90 Vento [m/s]= 4.00

Descrizione materiale	D	s	λ	r	dT	Tf	Ps	μ	Rv	dP	Pv	Ds	CT	CTS		
Aria ambiente						20.00	2338				1169					
Strato liminare interno				0.123	1.98	18.02	2064				1169					
Malta di gesso per intonaci	600	0.0100	0.290	0.034	0.56	17.46	1999	8	0.4	1	1168	6	0.84	4.8		
Mattoncino forato 1.1.19 80	1800	0.0800		0.200	3.22	14.24	1619	9	3.8	12	1155	144	0.92	118.9		
Intercapedine aria ver. 80 mm	1	0.0900	0.510	0.176	2.85	11.39	1348	1	0.5	2	1154	0	1.00	0.1		
Polietilene in fogli	950	0.0010	0.350	0.003	0.05	11.35	1339	50000	266.6	851	303	1	2.10	1.7		
Pannello in lana di roccia	150	0.0400	0.040	1.000	16.12	-4.77	409	1	0.3	1	302	6	0.84	2.8		
Malta di cemento (rinzafo)	2000	0.0100	1.400	0.007	0.12	-4.89	405	30	1.6	5	297	20	0.84	9.3		
Mattoncino pieno 1.1.02 (a) 120	1800	0.1200		0.150	2.42	-7.31	330	9	5.8	18	279	216	0.92	101.8		
Strato liminare esterno				0.043	0.69	-8.00	310				279					
Resistenza termica totale teorica: 1.74													Massa [kg/m ²]: 393		CTunit.: 239.4	

Trasmittanza Teorica [W/m²°C]: 0.58

La tabella è preceduta da due sezioni schematiche della parete. Nella tabella relativa ad una struttura composta di diversi strati, vediamo:

- una riga per ogni strato;
- in ogni riga, per il materiale che costituisce quello strato, compare una serie di dati fisici alcuni dei quali non compaiono nelle relazioni finora introdotte (massa specifica, permeabilità al vapore...); altri invece sono proprio quelli in diretta relazione con gli elementi sopra introdotti: lo **spessore s** (colonna 2), la **conduttività “ λ ”** (colonna 3) e quindi la **resistenza “r”** dello strato interessato (colonna 4). Abbiamo visto che il valore di “r” è quello decisivo agli effetti dell’isolamento; quindi scorrendo i valori di r possiamo valutare l’importanza del contributo di ogni strato: per esempio, in questo caso vediamo che quello dell’isolante (nell’esempio sopra riportato, lana di roccia) $r = 1,00$ è pari al 57% del totale: ovvero l’isolante da solo fa più di tutti gli altri componenti insieme;
- nelle altre colonne troviamo il salto di temperatura ΔT , la temperatura superficiale di ogni strato, la pressione di vapore, la permeabilità al vapore ed altre grandezze che fin qui non interessano;
- i valori di “r” si sommano, quindi leggeremo in calce alla colonna delle “r” la R_{tot} della parete (1,74), dalla quale risulta una trasmittanza $U = 1/R$ (0,58).

Si potrebbe azzardare che un costruttore può dirsi “termicamente alfabetizzato” quando sappia leggere la tabella struttura di una parete, almeno limitatamente a queste colonne.

3.3 IL PROBLEMA DELLA CONDENSA E IL DIAGRAMMA DI GLASER

Quasi sempre le schede delle strutture (fig. 1, a sinistra) riportano anche l'andamento della temperatura all'interno della parete (linea verde, scala a sinistra) nonché quello della pressione di vapore (linea rossa, scala a destra); questo è importante agli effetti di una verifica necessaria: in merito alla formazione di condensa all'interno della parete.

In che cosa consiste questo fenomeno?

La temperatura ha un certo valore all'interno dell'edificio, ed un altro valore all'esterno (più basso, nelle condizioni standard invernali); evidentemente, all'interno della parete, la cui presenza consente questo divario, la temperatura sarà intermedia e diversa da punto a punto, ed andrà a collegare i due valori estremi: ovvero passerà da valori di circa 20°C dell'ambiente interno, a valori via via più bassi (più "freddi") avvicinandosi alla temperatura esterna; il fatto notevole, nel caso di strati di materiali diversi, è che all'interno degli strati poco isolanti la temperatura non ha variazioni rilevanti (la pendenza è piccola), mentre in corrispondenza degli strati isolanti essa varia fortemente; infatti, è proprio il materiale isolante che consente questa variazione ed osservando il grafico riportato in corrispondenza della sezione della parete, si nota che esso presenta qui una forte pendenza, quasi un "ginocchio".

D'altra parte, nell'ambiente interno è sempre presente il vapore acqueo, che tende naturalmente a passare dall'ambiente caldo all'ambiente più freddo, quindi d'inverno dall'interno all'esterno: immaginiamo una specie di canale che attraversa la parete consentendo al vapore di passare. La presenza degli strati di parete tuttavia si fa sentire nel percorso del vapore: prima di tutto perché, come visto, nel percorso il vapore si troverà a temperature diverse (decrescenti) e magari (negli isolanti) diverse in modo "brusco"; secondariamente il materiale edilizio dello strato, anche se generalmente tutti i materiali si lasciano più o meno attraversare dal vapore (cioè sono permeabili ad esso, salvo che quando si sia specificamente previsto il contrario), costituiscono sempre un freno al suo libero passaggio, a seconda appunto della loro permeabilità, che è notevolmente diversa per i vari materiali. Il fenomeno viene descritto con l'andamento del parametro della "pressione di vapore" che pure varia lungo il "canale" del percorso; diciamo, in prima battuta, che in una casa "sana" le pareti dovrebbero consentire l'uscita del vapore senza intoppi, con permeabilità crescenti per i vari strati verso l'esterno.

Può darsi invece che in un certo punto si trovi una pressione di vapore alta in concomitanza con una temperatura bassa, così bassa da far sì che il vapore condensi (la temperatura di rugiada): esso allora, anziché uscire, si depositerà lì, bagnando il materiale coinvolto: è questa la "condensa interstiziale", che nella rappresentazione grafica (diagramma di Glaser) si verifica, con le opportune

scaie, quando la linea della pressione di vapore interseca quella discendente della temperatura; questo in genere accade più facilmente se lo strato isolante è posto all'interno, perché in tal caso la parete è quasi tutta fredda.

Spesso, quando si pone questa eventualità, si ricorre al sistema di interporre uno strato di barriera al vapore (qui alla riga 5, polietilene in fogli) il quale non permettendo il passaggio di vapore taglia il problema alla radice; ricordiamo che in questo caso è ancora più importante la ventilazione dei locali, perché è solo ad essa che resta affidato il compito di smaltire l'umidità interna provocata dalla permanenza delle persone.

Il problema della condensa è rilevante all'interno del muro, anche se non visibile a priori: qualsiasi parte bagnata subisce un crollo delle capacità di isolamento (si pensi ad un cappotto bagnato), innescando con ciò un circolo vizioso: essa si raffredda ancor di più, quindi produrrà più condensa,...

Se il fenomeno si manifesta già sulla superficie di un ambiente interno in vista si hanno poi risultati esiziali: compare allora la famigerata condensa, con il noto corollario di muffe, questioni di salubrità,...; ora, questo avviene sostanzialmente in corrispondenza dei "ponti termici" definiti sopra, che per effetto della loro trasmittanza eccessiva, assumono una temperatura superficiale molto bassa, tale che appunto l'umidità condensa.

3.4 PARETI OPACHE VERTICALI MONOSTRATO E PLURISTRATO

Sotto l'aspetto pratico, è il caso di suddividere le pareti perimetrali in due grandi categorie:

- **pareti perimetrali omogenee**, costituite in sostanza da un solo materiale edilizio (quindi monostrato; anche se in realtà la presenza dell'intonaco comporta che gli strati siano almeno due o tre), che è al contempo, in genere, componente strutturale e componente termoisolante (il caso classico originario è quello delle pareti in muratura); questo tipo di parete è solitamente anche portante, almeno negli edifici di minori dimensioni. E' anche, di solito, più *pesante* del secondo tipo: le indicheremo quindi come "monostrato, portanti, isolanti";
- **pareti perimetrali disomogenee**, ovvero composte dalla successione di diversi strati, quindi **stratificate**; esse in genere non sono portanti, vanno quindi portate dalle travi di bordo; e sono in genere più leggere di una parete portante.
Quanto detto sopra non è però una regola: si hanno pareti portanti ma stratificate (ad esempio, una parete portante con rivestimento a cappotto).

3.4.1 Pareti stratificate.

Esaminando la scheda struttura, portata ad esempio in precedenza per un tipico tamponamento a cassetta, si è visto il comportamento dei vari strati agli effetti del risultato complessivo: si constata dunque l'efficacia dello strato isolante ai fini dell'isolamento della parete. Analoghe considerazioni valgono anche per diverse combinazioni di tavolati ed isolanti. Infatti, da quando si mette uno strato isolante (praticamente dall'avvento delle leggi 373/76 e 10/91), la trasmittanza di questo tipo di pareti è stata approssimativamente dimezzata.

Elementi positivi

- E' immediato conseguire che, poiché in genere lo spessore di camera d'aria nel tamponamento è esuberante, basterebbe aumentare lo spessore dell'isolante nella camera d'aria per aumentare vistosamente la resistenza e quindi diminuire la trasmittanza della parete nel complesso: in teoria, nelle pareti a cassetta, aumentando lo spessore dell'isolante si può ridurre la trasmittanza quasi a piacere senza aumentare lo spessore del muro.

Per esempio, con uno spessore di 10 cm invece di 4 cm, si otterrebbe una "r" pari a 3,14 e quindi una *trasmittanza pari a 0,3185 W/m²K*, come sarà necessario nel 2010, *con il solo sovracosto dello spessore di isolante aggiunto (è molto probabilmente questa l'origine delle stime di sovracosto che si vedono talora pubblicate)*;

- una seconda possibile modalità di intervento può sembrare quella di scegliere un isolante avente una conduttanza migliore: in realtà la differenza non risulta parimenti significativa; comunque per la valutazione specifica degli isolanti vedasi al cap. 6 (edifici multipiano).

Elementi negativi

- In realtà, quanto detto sopra è vero per la parete ideale come sopra descritta; purtroppo, però, la struttura costituita da un telaio in cemento armato, che normalmente porta le pareti di tamponamento suddette, comporta necessariamente considerevoli porzioni di superficie che hanno prestazioni ben diverse (anzi sono ponti termici): i pilastri e le travi. In termini di consumo energetico, questi finiscono per avere una incidenza che condiziona pesantemente il risultato finale;
- un altro punto a cui occorre prestare attenzione in questo tipo di parete è la questione della condensa: a seconda della posizione in cui si mette l'isolante, possono infatti aversi casi di formazione di condensa;
- infine, la "leggerezza"; le pareti portate sono relativamente leggere: circa 200 Kg/m² tutto compreso; (si confronti con il peso del classico muro di mattoni pieno da 40 cm di un tempo, pari a 680 Kg/m², o anche solo da 25 cm, pari a 425 Kg/m²). Questa leggerezza è da alcuni sottolineata come un fattore negativo rispetto alla questione della cosiddetta inerzia termica e dello sfasamento termico, cioè della capacità della parete di smorzare i

picchi di temperatura esterna nel passaggio del calore e di sfasare l'oscillazione della temperatura interna rispetto a quella esterna, a prescindere dall'impianto termico. E' questa una questione rilevante soprattutto in regime estivo agli effetti del comfort ambientale (l'obiettivo è mediare la temperatura notturna e diurna). Su questo argomento ci si limita qui alla enunciazione dei problemi senza entrarne nel merito, anche perché resta un tema delicato e discusso, e perché ormai quasi tutte le pareti sono relativamente leggere. Va detto che il D.Lgs. 311/06 nell' "Allegato I" considera il problema imponendo un peso minimo.

3.4.2 Pareti monostrato (omogenee, portanti isolanti)

Le pareti stratificate (leggere) sono state introdotte con l'avvento delle strutture in cemento armato, ove esse sono portate dalle travi di bordo.

Tradizionalmente, non esistevano che le pareti in muratura piena portante. La scheda struttura di una tale parete (ipotizzata una parete in muratura a vista da 40 cm) risulta semplificata rispetto alla fig. 1, come segue:

- le prime tre righe (aria interna, strato liminare, intonaco) sarebbero uguali a quelle di fig. 1;
- non ci sarebbero le righe 4,5,6,7 (forato, intercapedine, polietilene, isolante, rinforzo o intonaco interno);
- la terzultima riga (mattoncino pieno) sarebbe uguale salvo lo spessore s che triplicherebbe, passando da 0,12 a 0,38. Quindi la resistenza corrispondente passerebbe da 0,15 a 0,45;
- l'ultima riga sarebbe identica (resistenza liminare);
- la resistenza totale R_{tot} sarebbe pari alla somma dello 0,45 dovuto al muro più quella delle altre r , che insieme valgono 0,20: totale 0,65; la trasmittanza U , inverso della R_{tot} , risulta pari a $1,54 \text{ W/m}^2\text{K}$: un risultato non brillante, ben lungi dalle nostre esigenze (ricordiamo sempre l'indicazione di legge $U_{lim} = 0,46 \text{ W/m}^2\text{K}$). Detto risultato è dovuto essenzialmente alla trasmittanza della muratura piena, di per sé non brillante ($\lambda = 0,63$).

3.4.2.1 Pareti in laterizio

Per ottenere pareti laterizie di qualità isolanti migliori a parità di spessore, ovviamente, non si poteva che agire sulla trasmittanza propria del materiale laterizio; ed è questa la via che l'industria ha imboccato, producendo laterizi che, in sostanza, hanno una sezione di laterizio vero e proprio minore, e per il resto contengono aria; aria sia in termini "micro" (laterizio poroso o alveolare, ottenuto con una pasta argillosa contenente microsferiche di polistirolo, o segatura, che bruciano nel processo di cottura) sia in termini "macro", con cavità interne ottenute per trafilatura.

Dal “blocco svizzero” nelle varie versioni al classico “Poroton” la rassegna è ampia. Il criterio di riferimento è quello di perseguire un blocco nel quale la parte “aria” sia massimizzata e quella laterizia minimizzata, pur mantenendo proprietà portanti (giocando sul fatto che per le esigenze statiche correnti, la resistenza a compressione del laterizio è esuberante).

Hanno rilievo altri due aspetti:

- il fatto che le varie microcamere d'aria siano conformate in modo che i setti laterizi rimanenti siano sfalsati, affinché non abbiano un negativo effetto di ponte termico;
- il fatto che i blocchi siano grandi e la loro precisione dimensionale notevole, sì da consentire giunti di malta ridotti e non passanti: i giunti di malta, infatti, risultano in genere negativi sia agli effetti isolanti sia agli effetti statici.

Con questi accorgimenti le murature in laterizio poroso ottengono risultati già notevoli con gli spessori correnti (25, 30, 35 cm).

Ci si astiene qui dal riportare una rassegna delle trasmittanze relative alle diverse tipologie di blocchi per i vari spessori disponibili: la casistica sarebbe assai ampia, con valori da ricondurre praticamente agli specifici prodotti (sovente registrati) dei diversi produttori, ai quali si rinvia; ci si limita a dire che trasmittanze di 0,7 - 0,6 W/m²K sono normali; per scendere a 0,5 - 0,4 W/m²K si richiedono in genere, salvo eccezioni, spessori superiori a 40 cm.

Resta il problema che la trasmittanza attualmente ottenibile da queste tipologie di pareti si discosta da quella richiesta dalla nuova legge (0,46 - 0,37 W/m²K); ciò, ovviante, limitandosi agli spessori oggi in uso. Va precisato, in proposito, che le norme regionali hanno da tempo escluso lo spessore del tamponamento oltre i 30 cm dal calcolo agli effetti urbanistici, appunto per incentivare l'isolamento e quindi, in teoria, l'idea di aumentare lo spessore non è preclusa.

L'industria del settore propone nelle espressioni più recenti dei modelli che prevedono, in sostanza, uno strato intermedio e continuo di materiale isolante specifico (polistirolo, polistirene, poliuretano); lasciando una faccia laterizia esterna ed una interna, collegate in vario modo con legamenti metallici o altri sistemi che prevedono resine espanse e simili come “collanti” e sigillanti, al posto delle malte.

A detta dei produttori, queste tipologie, che oltretutto hanno uno spessore complessivo in genere contenuto in 40 cm, raggiungono i valori di legge e a prima vista ciò non sembra impossibile; restano da valutare gli aspetti economici ed applicativi.

Vi sono comunque blocchi portanti isolanti non laterizi, che consentono tranquillamente di arrivare ai valori di legge suddetti (vedi oltre).

Elementi positivi

- In generale tutte le murature portanti – isolanti hanno il pregio di evitare i ponti termici strutturali del pilastro e della trave di bordo (resta solo la correa del solaio, problema minore). Questo è un vantaggio non trascurabile; limitato, ovviamente, ai casi in cui le dimensioni dell'edificio consentano uno schema a muratura portante;
- la maggiore pesantezza complessiva della parete viene indicata come fattore positivo per l'accumulo di calore e lo sfasamento dell'onda di temperatura come sopra accennato.

Elementi negativi

- La conformazione teoricamente complessa del blocco laterizio con le sue camere comporta che non si possa pervenire alla definizione del risultato col calcolo della semplice "scheda struttura" di cui sopra; per le prestazioni occorre quindi affidarsi maggiormente alle dichiarazioni del costruttore o a prove di laboratorio, tenendo conto della difficoltà di riprodurre in laboratorio le condizioni di cantiere;
- l'insieme delle prestazioni è molto condizionato dalla correttezza della posa in opera; incongrue palate di malta (che in gran parte appartengono alla tradizione dei nostri muratori) possono facilmente compromettere il risultato.

3.4.2.2 Pareti in blocchi di calcestruzzo di argilla espansa (Leca[®])

Un materiale introdotto da alcuni anni per la produzione di blocchi per murature portanti, che ha trovato anche altre utili applicazioni, è l'argilla espansa. Partendo da una materia prima naturalissima (l'argilla) si ottengono delle sferette con granulometria simile a quella della ghiaia (il marchio registrato è Leca[®]), ma molto più leggera ed isolante. Il calcestruzzo confezionato con tale inerte è quindi molto più leggero e più isolante del calcestruzzo con ghiaia; dosando le varie proporzioni si possono soddisfare diverse condizioni di portanza ed isolamento. In particolare ci sono linee di produzione di blocchi confezionati con tale calcestruzzo, di grandi dimensioni (in generale, altezza 20 cm, lunghezza 50 cm) e spessori analoghi a quelli dei blocchi in laterizio alleggerito (25-30-35 cm).

Le prestazioni delle murature eseguite con questi blocchi (vedere i dati forniti dai produttori) sono dell'ordine di quelle ottenute con i blocchi in laterizio alleggerito: valgono quindi le stesse considerazioni e valutazioni espone per questi.

3.4.2.3 In blocchi di cemento cellulare autoclavato (Gasbeton[®])

Si tratta di un altro materiale introdotto abbastanza di recente in Italia, che è ampiamente usato in realtà da molti anni in paesi come la Germania e la Francia e viene soprattutto commercializzato con il marchio Gasbeton[®].

Il particolare processo di produzione porta ad un materiale che è in realtà una schiuma di calcestruzzo di sorprendente leggerezza ($400-500 \text{ kg/m}^3$: ben più leggero del legno, difatti se immerso in acqua galleggia) e che ricorda il legno anche sotto altri aspetti (lavorabilità con sega, forabilità). Ha capacità portanti e spiccate doti di isolamento; viene confezionato in blocchi di diversi spessori e grandi formati, ed è caratterizzato da una grande precisione dimensionale, sì da consentire dei giunti di malta (una malta specifica) di pochi millimetri.

Le prestazioni isolanti delle murature eseguite con questi blocchi, che naturalmente variano con lo spessore, consentono di rientrare con tranquillità nei limiti di legge (fino a $0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$ per un muro da 40 cm). L'accuratezza della posa, che richiede modalità specifiche, con un breve "rodaggio" per le maestranze abituate alla classica muratura, diventa una condizione di impiego, così da ovviare agli aspetti negativi indicati nel caso delle murature in laterizio alleggerito.

3.4.3 Altre pareti opache verticali

Oltre alle pareti esterne vere e proprie, ci sono altre pareti verticali da isolare: quelle confinanti con il vano scala (non riscaldato) e quelle di separazione fra diversi alloggi: anche in questo caso si prevede la possibilità che, in nome dell'autonomia del riscaldamento che si concretizza oggi in diversi modi, l'appartamento adiacente risulti non riscaldato. Il valore massimo di trasmittanza ammesso dal D.Lgs. 192/05 e dal D.Lgs. 311/06 è di $0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$. Concettualmente, si possono usare tutti i tipi di parete, variamente isolati, con l'avvertenza che, essendo la differenza di temperatura minore, la dispersione è meno "pericolosa" e quindi in genere anche gli obiettivi di isolamento sono più modesti, come conferma il valore di riferimento della legge; piuttosto in questo caso va verificato che l'allestimento previsto per la parete soddisfi anche i requisiti di attenuazione acustica.

In genere per il costruttore hanno qui grande rilevanza anche altri fattori, quali il peso (quindi la possibilità di essere supportate dai solai), lo spessore, ed i valori di attenuazione acustica.

3.4.4 Altre soluzioni: il sistema a cappotto esterno

Il rivestimento esterno a cappotto ha molti punti di interesse. Esso non richiede una camera d'aria; quindi in genere non si eseguono due tavolati ma uno solo, di consistenza e spessore adeguati: in genere si usano in blocchi da 18, 20 o 25 cm di laterizio alleggerito e proprio in questo sta una parte del suo vantaggio economico.

Elementi positivi

Il grande vantaggio è che tutta la funzione isolante è affidata al rivestimento isolante esterno che ricopre tutta la superficie annullando i ponti termici: il termine "cappotto" è quindi efficace, ma non

del tutto esauriente: si tratta di un cappotto che copre tutto, anche la faccia e le mani, nella nostra analogia antropologica.

Inoltre, così facendo, mette al riparo tutta la struttura dalle variazioni termiche (chi abbia pratica di calcoli strutturali sa che le variazioni termiche sono una fonte di sollecitazioni strutturali non trascurabile).

Vengono usati tutti i tipi di isolante purché nella versione di pannello rigido di adeguata consistenza: dalle lane minerali e di vetro alle schiume sintetiche di derivati dal petrolio, fino al sughero.

Lo strato isolante era correntemente di 3-4 cm; ora, per rientrare nei limiti di legge nelle nostre zone occorre prendere in considerazione spessori di 8-10 cm.

Infine, all'esterno, lo strato isolante viene rivestito, previa applicazione di una rete di ancoraggio, con un "rasante" ed uno strato a finire che sostituiscono il tradizionale intonaco e la cui deduzione va pure messa nel conto economico.

Ultimo ma non meno importante pregio del sistema è che questo si presta ad ottenere ex novo un efficace isolamento negli edifici esistenti, ipotizzando per essi una rifacimento dell'intonaco esterno, praticamente senza nessun disturbo od inconveniente per gli abitanti all'interno.

Elementi negativi

Le potenziali riserve che non pochi costruttori hanno nei confronti del sistema, con sfumature squisitamente personali, sono rivolte alla potenziale delicatezza della faccia esterna e quindi alla durabilità; oppure considerano qualche complicazione esecutiva come quella di applicare persiane. In effetti, il pregio di liberare tutta la struttura dagli shock termici ha il suo contrappasso nel fatto che essi si scaricano appunto sul rivestimento esterno, che deve avere notevoli proprietà per assorbirle; detto rivestimento inoltre non avrà mai la resistenza di un laterizio a vista o di un intonaco tradizionale: cosa che forse ha qualche eco nell'inconscio del cliente italiano, abituato "romanamente" ad un edificio di consistenza "marmorea".

Queste valutazioni non hanno riscontro all'estero, dove il sistema ha esperienza di applicazioni ormai di vecchia data, anche per gli spessori ai quali qui non siamo ancora abituati.

3.5 PARETI OPACHE ORIZZONTALI: il primo e l'ultimo orizzontamento

Tutti gli edifici confinano con l'esterno o comunque con zone fredde, anche nella parte inferiore (con il primo solaio su pilotis o cantine o garages; non si considera qui il caso del vano abitabile posato direttamente sul terreno) e nella parte superiore (con il sottotetto non riscaldato oppure, nel caso di mansarde, con le falde del tetto; oppure, ancora, con una copertura piana impermeabilizzata).

In teoria, per il motivo visto poco sopra, data la possibilità che i singoli appartamenti non siano contemporaneamente riscaldati, anche i solai intermedi potrebbero essere chiamati ad isolare termicamente.

3.5.1 Il primo solaio

Abbiamo in ogni caso un elemento strutturale: il solaio. Il suo spessore, nell'edilizia civile corrente, varia fra i 18 cm ed i 24 cm; quanto alla sua costituzione, nell'edilizia corrente le categorie sono sostanzialmente due:

- il tipo in laterocemento (travetti in cemento armato, precompressi o no, ed elementi interposti in laterizio)
- il tipo "a lastre prefabbricate" o predalles (con suola in cemento armato prefinita contenente le armature, più gli elementi interposti di alleggerimento, in laterizio o in pvc espanso; più i travetti di giunzione e soletta in cemento armato gettato in opera).

In tutti i casi la resistenza termica del solo solaio (che viene determinata sperimentalmente, perché esso non è omogeneo nel piano) è piuttosto bassa: R intorno a 0,33 - 0,60 (si noti l'analogia con la somma delle resistenze del mattone forato da 12 e da 8 nel tamponamento a cassetta, pari a 0,5). L'elemento negativo va individuato nei travetti, presenti anche nel caso del solaio a predalles avente blocco interposto di isolante di notevole spessore: ogni travetto costituisce un ponte termico di puro calcestruzzo, annullando quasi l'effetto dell'isolante.

Agli effetti isolanti del solaio vanno aggiunti quelli degli intonaci e degli strati di sottofondo e pavimento: ma tutti questi, in assenza di provvedimenti specifici, non cambiano il risultato: la resistenza totale, a questo punto, è intorno a 0,42 - 0,62, che comporta una trasmittanza U di 2,4 - 1,6 W/m²K; del tutto inadeguata a fronte delle indicazioni del D.Lgs. 192/05 e D.Lgs. 311/06, come indicato più avanti: U = 0,43 W/m²K (2007) o 0,34 W/m²K (2008).

Occorre quindi prevedere uno specifico isolamento; le scelte sono due: o dalla parte esterna (in cantina, all'intradosso del solaio) o dalla parte interna dell'abitazione (all'intradosso del solaio), con la differenza di base che nel primo caso l'isolante potrà essere "leggero", ovvero non resistente a compressione, essendo in sostanza appeso od incollato a soffitto; mentre nel secondo, caso risultando sottostante al pavimento, insieme ai sottofondi, esso dovrà essere in grado di resistere a compressione.

3.5.1.1 Isolamento esterno (all'intradosso del solaio)

È la soluzione usata praticamente sempre nel caso dei pilotis; l'isolante è applicato a soffitto, e coperto da lastre di vario tipo (pannelli di gesso, controsoffitti vari). Più raramente si usa un sistema a cappotto.

Elementi positivi

- L'isolante può essere di qualsiasi tipo, è economico essendo a bassa densità, può raggiungere lo spessore che si vuole (cosa particolarmente utile nel caso di pilotis, in cui la temperatura è proprio quella esterna ed è quindi richiesto un isolamento notevole). Inoltre risultando in un certo senso accessibile, può essere "manutenuto", aumentato, variato;
- questa soluzione lascia la libertà di definire e modificare successivamente le partizioni interne;
- pregi secondari: l'insieme isolante + pannello di rivestimento può avere un notevole effetto fonoassorbente per i rumori sottostanti (tipici quelli di un garage) e di resistenza al fuoco.

Elementi negativi

- L'isolante di per sé, nei prodotti in commercio, non è mai "faccia a vista": non presenta una superficie finita (anche se rustica) che lo protegga e quindi va rivestito; inoltre, non consentendo l'adesione di intonaci, occorre ricorrere a pannellature di diverso tipo, lastre o simili, come nel caso dei controsoffitti. Questi controsoffitti hanno un costo che sembra giustificato in vani come i porticati d'ingresso, meno in locali tipo cantina o garage;
- trattandosi di vani garage la scelta dell'isolante deve fare i conti con la normativa antincendio, che ne esclude alcuni, oppure riconduce a soluzioni di rivestimento idonee; una controsoffittatura in pannelli di fibromagnesite e sovrastante isolante può tuttavia conseguire eccellenti risultati termici, acustici e antincendio.

3.5.1.2 Isolamento interno (all'estradosso del solaio)

L'isolamento sottostante il pavimento comporta una scelta di fondo:

- adottare uno strato di isolante resistente a compressione, quindi di costo specifico elevato, che dovrà costituire uno strato a sé stante, dedicato e perfettamente piano (quindi uno spessore suo); essendo poi comunque in qualche misura elastico, richiederà una sovrastante lastra rigida prima del pavimento (ed anche questa avrà un costo ed uno spessore). In compenso l'insieme costituirà "naturalmente" la base di un "pavimento galleggiante" che isola dai rumori da calpestio (anche se nel caso di sottostanti cantine, box o pilotis ciò non è richiesto);
- approfittare della necessità di spessori di sottofondo per i vari impianti per eseguire un sottofondo edilizio avente notevoli proprietà isolanti (cemento cellulare, betoncini variamente alleggeriti) con adeguato spessore in modo da soddisfare le richieste di isolamento. L'elemento negativo è che in questo caso gli spessori necessari diventano notevoli (15-20 cm).

Elementi positivi

- se l'isolante è tipo sottofondo edilizio (come il calcestruzzo cellulare), si può approfittare dello spessore per annegare comodamente gli impianti;
- se abbiamo l'isolante specifico, (per esempio pannelli di lana di vetro), si può interporre uno strato fonoassorbente per realizzare un pavimento galleggiante ai fini dell'attenuazione del rumore da calpestio;
- l'intradosso solaio (nel cantinato) resta non compromesso (per appendere tubazioni, far correre condotti,...).

Elementi negativi

- L'isolante specifico è ad alta densità quindi costoso, oppure, se di tipo edilizio, ha uno spessore notevole;
- il pacchetto isolante nasce "stanza per stanza" (i tavolati partono dal solaio), definendo rigidamente le stanze una volta per tutte;
- gli isolanti restano inglobati insieme agli impianti, per la vita: la manomissione di questi comporta l'alterazione di quelli;
- nel secondo caso (isolante tipo edilizio) occorre considerare il peso aggiuntivo.

3.5.2 L'ultimo solaio

3.5.2.1 Caso della copertura piana impermeabilizzata

La posizione dell'isolamento in questo caso è necessariamente all'estradosso; vale ancora, teoricamente, la scelta fra isolante specifico ed isolante di tipo edilizio; tuttavia se ci sono limiti di spessore (soglie di portefinestre,...) la soluzione con isolante sintetico risulta obbligata. Il sottofondo non ha più la funzione di contenere impianti, in compenso ha la possibilità di conformare le pendenze. In ogni caso occorre prestare attenzione alla successione degli strati in relazione alla posa della pavimentazione; ovviamente occorre che l'isolamento non si bagni per eventuali infiltrazioni provenienti dagli starti sovrastanti, a loro volta causate dalle precipitazioni, mentre per quanto riguarda la parte sottostante, va eliminata la pressione del vapore.

3.5.2.2 Caso del sottotetto non praticabile

E' il caso più semplice: un feltro-materassino posato sul pavimento assicura un buon isolamento col minimo costo (i materassini sono la tipologia di isolante a miglior prezzo, e sono elementari come posa).

Si coglie l'occasione per ricordare che, affinché l'isolamento sia efficace, è necessario che l'isolante aderisca bene alla superficie da isolare e sia il più continuo possibile; vale sempre l'analogia con un vestito: se l'aria può infiltrarsi da sotto, o se l'abito è fatto come quello di

Arlecchino con tanti pezzi cuciti ai bordi, l'effetto isolante ne soffre alquanto. Pannelli rigidi mal aderenti alle superfici irregolari del solaio, di dimensioni limitate e con accostamenti non sigillati, risulteranno necessariamente meno efficaci.

3.5.2.3 Caso di una mansarda: isolamento delle falde

Nella presente circostanza si possono presentare diversi casi: a seconda che la falda sia un solaio in cemento armato oppure in legno; nel caso del legno le soluzioni sono molteplici; sono in commercio anche numerosi prodotti di isolante preformato sottotegola, o studiati per consentire al contempo la realizzazione di un tetto ventilato. E' quindi arduo proporre una trattazione generale.

Si ricorda che nel caso di un solaio in legno (di per sé "caldo", ma caratterizzato da un peso ridotto e quindi una bassa inerzia termica) occorre che l'isolamento sia abbondante, per proteggere, oltre che dal freddo invernale, dai picchi di temperatura estivi raggiunti dalle coperture esposte quasi ortogonalmente ai raggi solari.

3.5.3 LE FINESTRATURE

Già si è detto che le finestre hanno trasmittanze multiple rispetto a quelle dei muri e quindi comportano dispersioni assai ingenti; si è detto anche che queste dispersioni derivano sia dal vetro vero e proprio (a), ma anche dal serramento (b) ed infine dai ponti termici di contorno (c).

E' quindi il caso di esaminare singolarmente questi fattori:

a) la vetratura.

Già si è visto che quello che ha consentito di dimezzare la trasmittanza della vetratura è stato in sostanza l'inserimento di una camera d'aria fra due vetri, poiché la lastra di per sé, dato il suo ridottissimo spessore, non dà un contributo apprezzabile di resistenza termica. Forse è il caso di ricordare che in realtà ("storicamente") si è passati anche dal vetro infilato di 2 o 3 mm (con i conseguenti spifferi e rumori) alla lastra composta di due cristalli float 4 mm sigillata al contorno. Ad ogni modo arricchimenti ulteriori delle due lastre, magari prevedendo per una di esse un cristallo accoppiato con strato di butile 4+5 mm (utile agli effetti acustici) non danno ulteriori effetti apprezzabili dal punto di vista termico; d'altra parte, l'allargamento della camera d'aria (da 6 mm a 12 mm) dà un contributo più sensibile, ma comunque marginale. L'unica altra via sostanziale teoricamente praticabile sarebbe in realtà l'aggiunta di un'ulteriore camera d'aria, con un terzo vetro. Le implicazioni in termini di ingombro, peso e costo sono tuttavia evidenti.

Un contributo sostanziale ci viene invece dall'innovazione tecnica dell'industria vetraria, con i vetri a bassa emissività. Per dare un'idea della novità, si ricorda che qualcosa di analogo già esisteva sottoforma dei cosiddetti "cristalli atermici", molto impiegati nelle facciate continue. In essi, tuttavia, l'effetto "atermico" era piuttosto rivolto al periodo estivo, ad impedire

l'ingresso dell'irraggiamento solare ed il conseguente surriscaldamento interno, ed essa era dunque in sostanza legata ad un fattore di riflessione della luce. Ora, agendo ancora su particolari trattamenti di un cristallo o di una sua superficie, si persegue lo scopo di "riflettere" il calore interno (la radiazione infrarossa) che naturalmente tende ad uscire. L'innovazione è molto promettente, perché i risultati sono di rilievo, a fronte di sovracosti abbastanza marginali. Allo stato attuale regna tuttavia ancora una certa incertezza sui risultati in termini quantitativi per le diverse tipologie.

Valori di massima: si può indicare che un vetrocamera con due lastre ed intercapedine, la cui trasmittanza è correntemente intorno a $2,8 \text{ W/m}^2\text{K}$, possa diventare di $1,2 - 2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ se una lastra è costituita da un vetro basso-emissivo; un risultato di rilievo dato che la trasmittanza si riduce praticamente di un terzo.

Il settore vetrario vede comunque un'innovazione ammirevole; accenniamo solamente ai vetri foto- o termotropici, ovvero il cui comportamento varia al variare della luce incidente (si pensi alla personale esperienza, ormai comune, delle lenti da sole autoregolanti); si possono attendere in tempi brevi grandi novità e possibilità di impiego industriale di massa.

Va comunque ricordato un aspetto opposto delle finestrate: la possibilità del "**guadagno solare**" detto comunemente "effetto serra": il concetto è che in presenza di sole (quindi quanto più una finestra è esposta verso sud, ed escluse quelle rivolte a nord) il calore che entra con la luce solare è maggiore della dispersione della finestra per effetto del salto di temperatura esterno-interno. Questo fatto, previsto nel D.Lgs. 192/05, viene contabilizzato nei vari programmi di calcolo tramite complessi algoritmi che tengono conto di tutti i fattori (il soleggiamento locale nel tempo, l'esposizione della finestra, la presenza o meno di ombre e schermature) e può risultare non indifferente. In questi termini, una finestra (purché ben esposta, e meglio se con protezione notturna) può diventare un fattore positivo anziché negativo rispetto agli effetti energetici. Vale la pena di citare che negli edifici a risparmio energetico estremo (classe A, energia zero) l'irraggiamento solare (effetto serra) diventa una fonte energetica primaria. Va pure aggiunto che ciò dipende sensibilmente dal clima locale e che viceversa l'effetto serra può diventare un problema estivo, in assenza di opportuni accorgimenti.

b) il serramento.

Serramento in legno: a partire dai tempi ante legge 373/76, l'evoluzione del serramento in legno è consistita sostanzialmente nella migliore tenuta all'aria (e quindi ai rumori), grazie alle guarnizioni. Al di là di questo, il serramento in legno, che nel confronto con altri resta comunque per ora il migliore, presenta una "barriera" fra interno ed esterno di 5-6 cm di legno, con una resistenza R

corrispondente a circa $0,5 \text{ Wm}^2/\text{r}$ (la trasmittanza conseguente è di poco inferiore a quella del vetrocamera); altri miglioramenti non sono in vista, salvo novità;

Serramento in alluminio: il serramento di alluminio sconta un grosso handicap iniziale, quello che il profilato che lo costituisce (fatto di un metallo fra i migliori conduttori, quindi fra i peggiori isolanti) sembra fatto apposta per esporre nella parte interna del locale le fasce di un telaio completamente fredde; e così era ai tempi ante legge 373/76. Successivamente è stato introdotto il serramento a taglio termico, ove il profilo esterno e quello interno sono separati da un elemento distanziatore sintetico isolante. Ulteriori affinamenti prevedono serramenti misti alluminio e legno, profilati riempiti di isolante ed altri accorgimenti. Per ora il serramento in alluminio a taglio termico corrente resta un po' indietro rispetto al serramento in legno come valore finale di trasmittanza, considerati i profili comunemente impiegati.

Va detto, però, che soprattutto in Germania, ma anche in Italia, l'industria sperimenta e produce correntemente componenti avanzati, in cui l'obiettivo globale per il complesso serramento e vetro, è quello di una trasmittanza U dell'ordine di $1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$, ovvero pari ad un terzo circa dell'attuale valore. Questo valore resta comunque assai maggiore del valore standard della parete isolata. Tuttavia, in combinazione con l'effetto di guadagno solare, queste finestrate costituiscono un serio contributo al riscaldamento.

Si tratta di sviluppi interessanti, da valutare tecnicamente ed economicamente;

Serramento in pvc: solo un cenno per citare questo tipo di serramento, di uso più o meno esteso, che si trova a metà strada fra quello in alluminio e quello in legno;

Ricordiamo in ogni caso che l'influenza del tipo di serramento sulla trasmittanza complessiva della finestratura è marginale, tanto più quanto più la sua superficie è grande.

L'oscuramento: Si ricorda altresì che la legge impone che si preveda un sistema di oscuramento, con effetto di protezione notturna e protezione

dall'irraggiamento estivo, già molto diffuso nel nostro paese. L'effetto di questi sistemi non è trascurabile, tanto che i programmi di calcolo ne tengono conto (una schermatura che chiuda perfettamente equivarrebbe ad una camera d'aria); i dispositivi in pratica sono le tapparelle avvolgibili (vedi oltre, il problema cassonetto) e le persiane a lamelle o cieche.

c) i ponti termici di contorno

Le mazzette: si è già accennato a cosa comportino le mazzette in termini di invito alle dispersioni termiche. Tendenzialmente, maggiore è lo spessore della mazzetta, maggiori sono i vantaggi. Per approfondimenti e miglioramenti vedasi al cap. 8;

Il davanzale o la soglia: nel sistema edilizio corrente, il davanzale sembra un dispositivo fatto apposta per trasmettere il freddo all'interno essendo costituito da una lastra di materiale come il marmo e cemento prefabbricato (entrambi ottimi conduttori) completamente esposta all'aria esterna, che passando sotto al serramento collega l'interno con l'esterno.

Per approfondimenti e miglioramenti vedasi ancora al cap. 8;

Il sottofinestra: anche il sottofinestra, almeno nella modalità anni '60, era un dispositivo per trasmettere il maggior calore possibile all'esterno (vedasi ancora al cap. 8).

Evidentemente è necessario che il sottofinestra non sia meno isolato del tamponamento normale (il D.Lgs. 311/06 lo prevede esplicitamente) a costo di far sporgere il termosifone, che giova tenere qualche cm staccato dalla parete, parzialmente all'interno;

Il cassonetto dell'avvolgibile: si può ripetere quanto sopra e parimenti si rinvia al cap. 8, anche per il rimedio proposto, che consiste nel coibentare l'interno del cassonetto.

Questa operazione tuttavia risulta onerosa ed imprecisa se eseguita in opera da maestranze edili; si può solo auspicare quindi che l'industria provveda ad offrire cassonetti precoibentati ad un prezzo competitivo.

4. L'IMPIANTO TERMICO

- GENERALITA': la catena dei rendimenti, le indicazioni di legge
- gli elementi della catena dell'impianto
- LA FONTE DI ENERGIA,
- IL GENERATORE
- LA REGOLAZIONE, LA RETE DI DISTRIBUZIONE
- TERMINALI: radiatori, tubi a pavimento
- PANNELLI SOLARI, acqua calda sanitaria

GENERALITA': LA CATENA DEI RENDIMENTI, LE INDICAZIONI DILEGGE

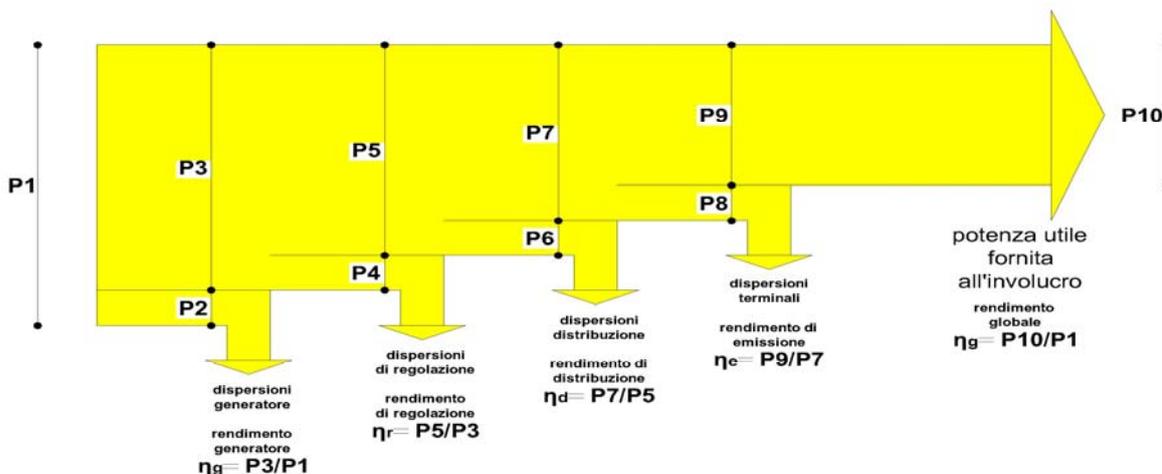
Si è detto che l'impianto è quello che fornisce all'interno del nostro organismo edilizio l'energia termica necessaria a compensare quella che esso disperde, per mantenerlo alla temperatura voluta.

In termini tecnici la sua dimensione caratteristica è quella di una potenza termica misurata in kW (una volta, in Kcal/h), potenza termica che deve essere idealmente in ogni istante uguale alla somma delle dispersioni termiche dell'edificio.

La potenza consumata dalla caldaia (d'ora in poi, in termini generali, dal generatore) non è uguale a quella da essa resa all'organismo edilizio: una parte viene inutilmente dispersa; il rapporto fra la potenza resa e quella consumata è definito rendimento η . Ovviamente la legge si interessa diffusamente di esso.

Ma ogni componente della catena dell'impianto, costituita dal generatore, dal sistema di regolazione e contabilizzazione, dalla rete di distribuzione ed infine dai terminali di emissione (radiatori o simili) riceve una certa potenza e ne rende utilmente solo una parte, quindi presenta un suo rendimento. Ebbene, il rendimento globale dell'impianto (rapporto fra potenza utile resa agli ambienti / potenza consumata dal generatore) è pari al prodotto dei rendimenti dei vari componenti della catena; essendo ognuno di essi inferiore ad uno, anche se essi sono singolarmente elevati (ad esempio quattro rendimenti pari al 95%, cioè 0,95) il loro prodotto conduce ad un valore molto inferiore all'unità (nel nostro esempio, $0,95 \times 0,95 \times 0,95 \times 0,95 = 0,81$, cioè l'81%).

fig. 2: schematizzazione delle dispersioni impianto; rendimento termico



Inoltre, in generale, il rendimento dei vari componenti decresce insieme al “fattore di carico”: per esempio, il rendimento di una caldaia con potenza massima 200 kW può essere del 97% (0,97) quando deve fornire 190 kW, ma può scendere al 94% (0,94) quando deve fornire solo 120 kW. Quindi tendenzialmente il rendimento globale dell'impianto decresce man mano che il picco dell'inverno si allontana.

La legge individua come elemento chiave il rendimento globale medio stagionale: quello medio di tutto il periodo di riscaldamento, e gli pone un limite (si veda il cap. 4):

$$\eta_g = (75 + 3 \log P_n) \quad \text{espresso in \%}, \text{ dove } P_n \text{ è la potenza nominale del generatore}$$

e \log è il logaritmo in base 10

Si nota che il limite è funzione diretta della potenza, ovvero esso risulta più alto per potenze elevate, in relazione al fatto che impianti grandi possono e devono essere più sofisticati ed hanno in genere rendimenti migliori.

A titolo di esempio:

- per 30 kW (caldaietta autonoma) risulta, $\eta_g = \text{min } 79\%$;
- per 100kW, $\eta_g = \text{min } 81\%$;
- per 200kW $\eta_g = \text{min } 82\%$

E' significativo confrontare questo limite con quello indicato nella previgente legge 10/91:

$$\eta_g = (65 + 3 \log P_n)$$

Il valore minimo del rendimento è aumentato del 10 %.

Vediamo dunque singolarmente i vari componenti della catena, con l'avvertenza che l'oggetto principale di questo manuale è la parte propriamente edilizia e che quindi per gli elementi dell'impianto ci si limita ai pochi centesimi necessari per inquadrarli nel complesso dell'adeguamento alla legge; non mancano del resto le trattazioni specialistiche ed il termotecnico sarà in grado di

dare indicazioni che astraggano dal condizionamento implicito in molte pubblicazioni fornite dai produttori.

IL GENERATORE E LA FONTE DI ENERGIA

Quando pensiamo a come si può fornire potenza termica, istintivamente pensiamo a bruciare combustibile (gas, gasolio, al limite legna) in una caldaia, ed è così nella maggior parte dei casi. Tuttavia la legge si interessa anche ad altre fonti di energia termica e le incentiva se sono rinnovabili o se costituiscono comunque un vantaggio per l'economia generale. Vediamole velocemente.

Teleriscaldamento

E' la fonte per ora più cospicua di energia "non convenzionale": essa, è disponibile come fornitura di acqua surriscaldata proveniente in tubazioni dalle centrali elettriche. Si tratta di calore che in genere andrebbe comunque disperso nell'ambiente; il suo utilizzo è quindi un vantaggio assoluto. In termini di relazione di calcolo di un edificio, il vantaggio è che ciò si traduce assegnando il valore 1 (100%) al rendimento della caldaia, che in realtà non viene installata, con economia di impianto e manutenzione.

Ovviamente, di questo ci si può valere solo se siamo in presenza di rete di teleriscaldamento (caso circoscritto a poche zone ben determinate).

Cogenerazione

Qualcosa di simile succede se si realizza (in un grande intervento, per es. un nuovo quartiere) un impianto di cogenerazione: un motore diesel produce elettricità, che viene venduta nel quartiere e nella rete generale, ed il suo impianto di raffreddamento produce calore che viene utilizzato per il riscaldamento degli edifici; comunque questa è una opzione che richiede un inquadramento tecnico-normativo specifico.

Solare termico

Gli impianti a pannelli solari si prestano bene per il riscaldamento dell'acqua calda sanitaria; va detto che d'estate è un po' un'aberrazione energetica far funzionare una caldaia solo per produrre acqua calda a bassa temperatura. La trattazione del tema esula dall'ambito di questo manuale.

Ricordiamo anche che l'originario D.Lgs. 192/05 (e D.Lgs. 311/06 allegato D) imponeva alle nuove realizzazioni piccoli accorgimenti per consentire agevolmente un'installazione anche successiva a

carico dell'utente. Nella legge nazionale aggiornata (D.Lgs. 192/05 e D.Lgs. 311/06, allegato L.12, vedi cap. 5) si prevede il ricorso obbligatorio ai pannelli solari per la produzione di acqua calda sanitaria, e così pure in diverse ipotesi di provvedimenti regionali.

Pompe di calore

Le pompe di calore sono l'inverso di un condizionatore: mentre quello "pompa fuori il caldo" (riscaldando l'ambiente esterno), queste "pompano fuori il freddo" (raffreddando l'ambiente esterno). Esse riescono cioè a prelevare energia termica dall'ambiente esterno (che raffreddano), anche se esso è a temperatura più bassa dell'interno.

Ovviamente il processo richiede energia elettrica per far funzionare il motore che aziona il compressore; ma la potenza termica resa è anche tre volte maggiore (anche 4 o 5 volte, se la fonte di prelievo non è l'aria, ma l'acqua o il terreno), quindi il bilancio è ben positivo.

Per le necessità di potenza termica di un piccolo appartamento costruito a norma dei D.Lgs. 192/05 e 311/06 (2, 3 o 4 kW di potenza termica massima per un bilocale o un trilocale), in teoria, anche i correnti condizionatori "split" per condizionamento estivo, reversibili, sarebbero sufficienti; purtroppo se l'ambiente dal quale essi prelevano calore è l'aria circostante (come di regola) insorgono problemi secondari (l'insorgenza di brina in certe condizioni) che ne limitano l'utilizzo (che resta comunque impregiudicato in zone come la riviera ligure).

Le pompe di calore funzionano benissimo se il loro mezzo di prelievo è l'acqua di falda o comunque corrente, che ha una temperatura molto più costante dell'aria, oppure il terreno stesso (tramite reti di tubi).

Diverse case all'estero propongono kit predisposti anche per l'impianto di una casa unifamiliare; sembra che vi sia una clientela di cittadini sensibili disposti ad un investimento iniziale maggiore da recuperare con risparmi nel tempo; i conti economici indicano un tempo di ritorno dell'investimento di pochi anni, che diminuiscono ulteriormente nel caso di impianti di grandi dimensioni, con punte di assoluta convenienza teorica nel caso la fonte di calore sia l'acqua od il terreno. Una condizione, d'altra parte, è la disponibilità di adeguata potenza elettrica.

La caldaia

Il generatore di energia termica più comune è la classica caldaia. Agli effetti del rendimento, che è l'unico parametro che si prende qui in considerazione, e che ovviamente si auspica essere il più possibile vicino ad 1, la legge, come si è detto, pone dei requisiti minimi variabili con la potenza della stessa, ed introduce una classificazione per "stelle", che viene poi spesso usata anche in sede di prescrizioni, incentivi,....

tabella 5: classificazione dei generatori

tab. 5: classificazione generatori	η al 100% della potenza temp. acqua 79 K	η al 30% della potenza temp. acqua 50 K
5 stelle	$\eta_g = (93 + 2 \log P_n)$	$\eta_g = (89 + 2 \log P_n)$
3 stelle	$\eta_g = (90 + 2 \log P_n)$	$\eta_g = (86 + 2 \log P_n)$
2 stelle	$\eta_g = (87 + 2 \log P_n)$	$\eta_g = (83 + 2 \log P_n)$
1 stella	$\eta_g = (84 + 2 \log P_n)$	$\eta_g = (80 + 2 \log P_n)$

Introdotti i valori funzione della potenza nominale, si nota che i valori di rendimento dei tipi oggi auspicati – da 3 stelle in su, detti “ad alto rendimento” – partono dal 95%. Si conferma anche una questione fondamentale: il rendimento, magari ottimo al carico massimo, inevitabilmente scende parecchio quando la caldaia è impiegata ad un regime di potenza basso.

Questo è un fattore sostanziale perché in sede di progetto la caldaia viene dimensionata necessariamente per il picco massimo di potenza necessaria (con temperatura esterna - 5°C), ma questa condizione, nell’arco di una stagione, è assolutamente minoritaria in termini di durata (si calcola che il carico *medio stagionale* sia intorno al 40%).

Il decrescere del rendimento al diminuire del carico era un fattore “strutturale” un tempo (quando le caldaie avevano un portata d’aria soffiata fissa); oggi, con le moderne caldaie che regolano la miscela aria-combustibile al variare del carico, il problema è notevolmente ridotto, ma perdura.

Caldaia a condensazione

Occorre citare questa categoria di caldaie, che si distingue dalle altre.

Illustriamo il principio fisico: come noto, i principali prodotti della combustione sono CO₂ ed H₂O (vapor d’acqua). Nelle caldaie tradizionali la temperatura dei fumi è tale che la parte acquee è inevitabilmente allo stato di vapore. Nelle caldaie a condensazione questo vapore viene fatto condensare, recuperando il “calore latente”, ovvero l’energia necessaria per il passaggio di stato da acqua bollente a vapore. Poiché il rendimento, come normalmente calcolato, considera che il prodotto della combustione sia vapore, questo recupero comporta che il rendimento nominale di questo tipo di caldaie sia superiore ad uno, fino ad 1,06 circa (106%); come si vede, un vantaggio rilevante.

Per contro, i condizionamenti che comportano queste caldaie consistono, oltre al maggior costo iniziale, in un ingombro sensibilmente maggiore (dovuto alla parte “condensatore”) ed al fatto che all’uscita della caldaia (allo scarico fumi, il camino) si formano sistematicamente grandi quantità di acqua (dell’ordine del litro e più per m³ di gas, quasi 1 litro per kg di gasolio); acqua calda, *teoricamente* pulita, che va smaltita in uno scarico.

Poiché sostanzialmente gli impianti si dividono nelle due grosse categorie di impianti medio-grandi (condominiali) ed impianti individuali, vediamo di seguito le indicazioni di base nei due casi.

Impianti con generatore condominiale

Si elencano sommariamente i vantaggi e svantaggi di questo tipo di impianti.

Pro:

- minor costo specifico di fornitura del generatore, durata maggiore e minor costo di manutenzione dello stesso;
- migliore rendimento e maggior controllo. Per ottimizzare il rendimento al variare del carico è anche pensabile di frazionare la potenza massima necessaria su due o più caldaie che lavorano in successione, sempre in condizioni di carico quasi ottimali.

Contro:

- non si deve ormai più citare l'originario elemento di successo delle caldaiette singole: l'impossibilità di regolazione e contabilizzazione del riscaldamento da parte del singolo utente, dato che anche con un una caldaia condominiale si possono eseguire impianti "a zone" ove la "zona" coincide con l'appartamento; in tale caso va, tuttavia, considerato il maggior costo per i singoli dispositivi di controllo e contabilizzazione;
- la necessità di realizzazione di una centrale termica con i suoi condizionamenti e costi; la relativa lontananza di questa dai singoli alloggi con le connesse dispersioni di rete;
- per la produzione di acqua calda sanitaria il generatore unico non comporta questioni particolari nella stagione invernale (resta la questione della lontananza fra il punto di generazione dell'acqua calda e quello di consumo, con il conseguente utilizzo di reti, circolatori, dispersioni complessive); al di fuori della stagione di riscaldamento risulta energeticamente irrazionale l'impiego di una caldaia di elevata potenza per un fabbisogno termico minimo: di fatto essa resta inattiva nella massima parte di tempo ed il rendimento crolla. E' grandemente consigliabile quindi una seconda caldaia dedicata.

Gli impianti autonomi

Gli impianti ove il generatore è la "caldaietta" a gas, considerata da molti in via di estinzione, continuano al contrario ad avere un impiego diffuso.

A parte i casi ove essi non hanno alternativa possibile (ville, abitazioni individuali) essi esercitano ancora una notevole attrattiva per la totale autonomia che consentono al conduttore dell'alloggio (calendario ed orario di riscaldamento, pagamento diretto,...).

I produttori propongono caldaiette anche di rendimento elevato ed addirittura caldaie individuali a condensazione (che pure scontano i relativi condizionamenti, forse più pesanti in ottica individuale, di costo, ingombro e di scarico).

Risulta quindi possibile progettare e realizzare soluzioni conformi alla normativa anche con le caldaiette, che però pongono due questioni tecniche fondamentali:

- **Potenza nominale:** per alloggi di modeste dimensioni (bilocali, trilocali,...) poiché a norma di legge le dispersioni sono ridotte ai minimi termini, il fabbisogno in termini di potenza termica risulta parimenti molto modesto: 2 - 5 kW come valore di punta invernale, con i - 5°C esterni.

Qualche termine di paragone per dare una percezione dimensionale: in termini elettrici, il contatore elettrico "standard" di una abitazione ha una potenza impegnata di 3 kW: dunque si potrebbe riscaldare elettricamente; oppure, restando in termini di "calore", non è infrequente vedere nelle case anni '60 radiatori di notevoli dimensioni, che hanno ciascuno una potenza di emissione di 2 kW o più.

Ma non esistono "caldaiette" di potenza nominale di 3, 6 oppure 7 kW; i modelli commercialmente disponibili partono infatti dai 16 kW, e di regola sono di 30 kW. Verrebbe da chiedersi: perché? Perché la regola è che la caldaietta provveda anche alla produzione di acqua calda sanitaria in continuo; e dunque, conti termici alla mano, per scaldare istantaneamente l'acqua per una bella doccia e poco più, la potenza termica richiesta è di questo ordine.

Sono implicite le conseguenze in termini di rendimento: la caldaia lavora sempre ad intermittenza, le perdite al camino, per "fiamma pilota", ecc. si fanno sentire. A questo punto, per rientrare nei parametri di legge, occorre molta attenzione.

- Anticipiamo qui un'altra questione che vedremo meglio ai capitoli 6 e 7: essa riguarda il rapporto S/V fra superficie "esterna" dell'involucro e volume riscaldato.

Se si tratta di una villa, tipicamente questo parametro S/V (dove S è la superficie esterna delimitante il volume e V è lo stesso volume riscaldato), al quale la legge relaziona direttamente i limiti di dispersione, è molto alto, ai limiti della scala (0,9 ed oltre, vedi tab. 7 al cap. 5).

L'edificio (coincidente in questo caso con l'alloggio) ha cioè per sua natura molte superfici esterne (pareti, tetto, pavimenti su ambienti freddi,...); in relazione a ciò la legge gli consente una dispersione specifica maggiore di quella consentita ad un alloggio per il quale le superfici disperdenti siano minori; questo però fino a un certo punto e non oltre; sarà cura del progettista isolare tutto al meglio e non sarà facile.

Un edificio condominiale (edificio in linea, a torre) ha per natura un rapporto S/V molto "migliore", cioè più basso, rispetto alle altre tipologie di edifici, e la legge consente dispersioni specifiche minori.

Ma se nell'edificio condominiale ogni appartamento ha un impianto autonomo con proprio generatore (nella terminologia dei programmi di calcolo, quando c'è un generatore per ogni zona), molti programmi di calcolo considerano "edificio" ogni singolo appartamento e tutte

le superfici delimitanti il suo volume vengono considerate “esterne”: in effetti gli appartamenti confinanti, sottostanti o sovrastanti potrebbero teoricamente non avere alcuna forma di riscaldamento.

A questo punto, l'appartamento godrà sì di limiti di dispersione maggiori di prima, ma si dovranno calcolare per esso le possibili dispersioni verso gli appartamenti adiacenti, e poiché le pareti fra appartamenti confinanti (così come i solai interpiano) non sono solitamente isolate come quelle esterne, non sarà facile far quadrare i conti.

- Altra peculiarità da considerare è l'ubicazione della caldaia: un possibile vantaggio della caldaia autonoma è che essa può essere posta internamente al volume da riscaldare; quindi non esistono condotti d'acqua calda esterni fra la stessa e l'impianto da servire; anzi, le sue stesse perdite (dal mantello, ed in parte, dalla canna fumaria) finiscono a riscaldare la casa. Ma se la caldaia viene collocata all'esterno, come sovente si usa in ossequio a norme di sicurezza, questi benefici vengono annullati, ed anzi il considerevole fascio tubiero sottostante, solitamente trascurato in termini di isolamento, diventa un'importante sorgente di dispersione.

LA REGOLAZIONE - LA RETE DI DISTRIBUZIONE

Si sorvola su questi due elementi dell'impianto, che non hanno infatti una particolare incidenza sul modo di costruire e per i quali sono altresì disponibili molteplici efficienti soluzioni.

Si ricorda solamente l'utilità e la notevole convenienza delle valvole termostatiche, applicabili ad ogni radiatore con un costo molto basso nel caso di nuovi impianti che consentono una regolazione del singolo radiatore, quindi della singola stanza, istante per istante, riducendo il consumo alle effettive necessità del momento, ovviando ad inevitabili manchevolezze o sbilanciamenti del circuito e compensando anche fattori che gli altri metodi di regolazione non possono seguire (l'apertura casuale delle finestre nel locale, vedi l'effetto del sole in una stanza,...). In taluni casi essi risultano prescritti dalla legge; sono comunque consigliabili. Anche negli impianti esistenti, spesso affetti da sbilanciamenti ingovernabili e fonte di lamentele strutturali, pur risultandone in questi casi l'applicazione un po' più onerosa, possono risolvere situazioni incancrenite da tempo e costituire un risparmio energetico complessivo.

TERMINALI: RADIATORI, TUBI A PAVIMENTO

Sorvolando sugli impianti a radiatori, troppo noti per richiedere spiegazioni e descrizioni di alcuna sorta, introduciamo invece qualche cenno per quanto riguarda gli impianti a pannelli radianti a pavimento, che meritano una attenta considerazione.

Va premesso che quelli che si realizzano oggi non hanno niente a che fare, se non in linea di principio, con quelli degli anni '50, che vennero presto abbandonati per risultati molto negativi, in primis in termini di comfort.

Quelli odierni, economicamente appena più costosi rispetto a quelli a radiatori in fase di realizzazione, presentano:

Elementi positivi

- maggiore confortevolezza: riassumibile nell'aforisma "piedi caldi e testa fresca";
- senso di benessere dovuto al fatto di avere ampie superfici appena tiepide (tutto il pavimento) con la conseguenza che il corpo sente il calore per irraggiamento, invece di avere piccoli elementi ad alta temperatura (i radiatori) e tutto il resto freddo;
- maggiore igiene: non ci sono i moti convettivi causati dai termosifoni, con il vantaggio di avere meno polvere in circolo;
- sensibile risparmio: perché a parità di sensazione di comfort (vedi sopra), bastano 1-2°C in meno nella stanza rispetto all'impianto a termosifoni dove viene riscaldata tutta l'aria, soprattutto quella nella parte alta, ed a partire in genere da punti perimetrali (pareti di ambito), ove quindi si attiva una dispersione maggiore. Si noti che 2°C su 20 sono il 10%, e nella stagione intermedia molto di più;
- si elimina il radiatore: meno ingombro, meno problemi in caso di vincoli storico artistici dell'edificio;
- infine, il fatto di utilizzare come fluido scaldante acqua a temperatura solo moderatamente calda (45°C al massimo, invece dei 75°C dei termosifoni) riduce le dispersioni intermedie (reti di arrivo,...) e consente un miglior utilizzo di generatori non convenzionali a rendimento maggiore (caldaie a condensazione, pompe di calore) che lavorano meglio a bassa temperatura;
- si potrebbe aggiungere che il massetto contenente le serpentine ed il preformato in plastica usato per contenerle e guidarle danno un notevole contributo in termini di isolamento acustico interpiano al calpestio.

Elementi negativi

- In alcuni locali (tipicamente quelli piccoli, tipo i bagni) non si riesce a distribuire nell'ambiente la potenza termica necessaria, e bisogna integrarla con altri sistemi;
- l'inerzia termica è elevata (grande accumulo di calore e conseguente ritardo nella risposta).

5. Il D.Lgs. 192/05 ed il D.Lgs. 311/06

- AMBITO, campi di applicazione
- LA CERTIFICAZIONE ENERGETICA attestato di certificazione e di qualificazione
- QUADRO degli ADEMPIMENTI e delle RESPONSABILITA'
- CONTENUTI TECNICI PRESCRITTIVI,
- limiti di EP_i (metodo generale)
- limiti di U (metodo semplificato)
- I METODI DI PROGETTO e verifica:
metodo generale, metodo semplificato
- OBBLIGHI DIVERSI, energie rinnovabili

Il D.Lgs. 192/05 e il D.Lgs. 311/06, che, in attuazione della Direttiva Europea del 2002 (91 CE), disciplina le prestazioni energetiche degli edifici in sostituzione della precedente legge 10/91, è una legge di ampia portata; ha molti destinatari, che coinvolge a diverso titolo e con diverse responsabilità; è tuttora tecnicamente in piena evoluzione e prevede possibili estensioni e specificazioni sia regionali che locali.

Per la prima volta, con l'istituzione della certificazione energetica, essa rende possibile un apprezzamento in termini di mercato della qualità energetica di un edificio.

Si precisa, essendo la normativa in rapida evoluzione, che nel presente testo ci si riferisce alla situazione vigente al 2 febbraio 2007 (data di entrata in vigore del D.Lgs. 311/06 che ha integrato il D.Lgs. 192/05). Sull'interpretazione di alcuni punti del D.Lgs. 311/06, peraltro, è tuttora in corso il dibattito fra gli addetti ai lavori; le messe a punto e precisazioni seguiranno necessariamente.

AMBITO, CAMPI DI APPLICAZIONE (art. 3)

Il D.Lgs. 192/05 e il D.Lgs. 311/06 si applicano praticamente a tutti gli edifici non agricoli:

- agli edifici di nuova costruzione;
- agli edifici esistenti che subiscono ristrutturazioni totali o parziali, od anche semplice manutenzione straordinaria con sostituzione di parti dell'involucro edilizio;
- al rifacimento di impianti anche con sola sostituzione del generatore;

- ci sono inoltre disposizioni per tutti gli immobili in occasione del loro “trasferimento a titolo oneroso”, anche in assenza di qualsiasi intervento;
- gli immobili di proprietà pubblica sono soggetti a prescrizioni ulteriori, che qui non si considerano.

Sono esclusi:

- gli immobili classificati nell’ambito dei beni culturali storici e del paesaggio (ma solo nella misura in cui i valori storici siano in contrasto);
- i fabbricati industriali riscaldati per esigenze del processo o comunque gli immobili riscaldati tramite reflui energetici del processo produttivo;
- i fabbricati isolati con superficie utile totale inferiore a 50 m².

Modalità di applicazione:

Applicazione integrale all'intero edificio:

- per gli edifici di nuova costruzione;
- per le ristrutturazioni "integrali", compresa la demolizione e la ricostruzione in manutenzione straordinaria, per edifici maggiori di 1000 m²;
- nel caso di ampliamenti l’applicazione è integrale, ma limitata al solo ampliamento nel caso che lo stesso sia maggiore (in volume) del 20% dell'intero edificio.

Applicazione limitata alla parte di edificio oggetto di manutenzione (con limiti a parametri specifici):

- per ristrutturazioni integrali di edifici minori di 1000 m²;
- per ristrutturazioni parziali di edifici maggiori di 1000 m²;
- per nuova installazione o ristrutturazione di impianti di riscaldamento (compresa anche del solo generatore);
- in qualsiasi occasione si intervenga sull’involucro edilizio, anche con manutenzione straordinaria.

5.2 L'ATTESTATO DI CERTIFICAZIONE ENERGETICA (art. 6, D.Lgs 192/05) e L'ATTESTATO DI QUALIFICAZIONE ENERGETICA

La legge assegna un ruolo chiave all'attestato di certificazione energetica (ed all'attestato di qualificazione energetica, che per ora lo sostituisce; esso costituisce una sorta di "pagella energetica" ufficiale dell'edificio.

Esso deve contenere "...i dati relativi all'efficienza energetica propri dell'edificio, i valori vigenti a norma di legge e i valori di riferimento, che consentano ai cittadini di valutare e confrontare la prestazione energetica dell'edificio"; esso deve anche essere "corredato da suggerimenti..." per migliorare la prestazione energetica.

Quale è l'uso di questo attestato?

- nel caso di compravendita "è allegato all'atto di compravendita";
- nel caso di locazione "è messo a disposizione del conduttore";
- negli edifici di proprietà pubblica "di superficie oltre 1000 m²" è affisso in luogo visibile al pubblico".

In sostanza, è previsto tutto il possibile perché il destinatario dell'alloggio abbia accesso ai dati e li possa valutare, cioè possa formarsi una "prospettiva energetica"; con questo meccanismo il destinatario finale dell'edificio (acquirente od anche locatario) può ponderare l'edificio anche come valore di mercato.

Come sono espressi i valori energetici, e come valutarli?

Come si vede oltre, questi valori sono espressi con un "indice di prestazione energetica EP_i" relativo al riscaldamento invernale (la legge riporta "condizionamento invernale"); esso rappresenta il consumo di energia primaria per unità di superficie utile (o di volume) e per anno dell'edificio (fino alla uscita del D.Lgs. 311/06 al suo posto c'era il cosiddetto "FEP", fabbisogno d'energia primaria); esso viene espresso in kWh/m² anno (o kWh/m³ anno per gli edifici non residenziali).

L' EP_i in kWh/m² anno di per sé non risulta molto "leggibile". Lo diventa se viene moltiplicato per la superficie utile in m² dell'appartamento: risulta allora una quantità espressa in kWh, unità nella quale siamo abituati a leggere i consumi elettrici: se l'alloggio fosse scaldato con radiatori elettrici, il consumo annuo (inteso, della stagione di riscaldamento) dovrebbe coincidere col valore dei kWh. Inoltre, moltiplicando il valore ottenuto per i fattori di conversione kWh/m³ di gas e kWh/litro di gasolio si possono ottenere i rispettivi consumi in m³ di gas o in litri di gasolio, che sono unità di misura chiaramente apprezzabili. Il fabbisogno di combustibile, tra l'altro, va riportato in chiaro nella relazione di progetto come risultato di calcolo.

La leggibilità quindi è possibile, anche se poi un eventuale confronto fra un consumo reale ed un consumo “convenzionale” risente sempre di fattori aleatori: tipicamente, la stagione più o meno rigida, il regime orario di riscaldamento, il regime di ventilazione, eventualmente il consumo per acqua calda sanitaria, se coinvolto; un po' in analogia, nel caso delle automobili, agli scostamenti fra consumo “normalizzato” e consumo effettivo.

5.2.1 Tempistica prevista

Gli edifici nei quali si eseguono interventi edilizi o sugli impianti, destinatari diretti delle disposizioni di legge, e che devono presentare una apposita relazione di progetto, devono essere dotati dell'attestato di certificazione energetica “entro un anno” ovvero a partire dal 2 febbraio 2008; (vedasi il cap. 5 anche per l'attestato di qualificazione energetica).

Ma in generale tutti gli immobili non agricoli, anche in assenza di qualsiasi intervento, in occasione di un “trasferimento a titolo oneroso” (vendita o locazione) devono essere dotati di certificazione energetica (a carico del venditore o del locatario) con il seguente scadenziario temporale:

- trasferimento oneroso di un intero immobile di > 1000 m² a partire dal 01 luglio 2007
- trasferimento oneroso di un intero immobile di < 1000 m² a partire dal 01 luglio 2008
- trasferimento oneroso di singole unità immobiliari a partire dal 01 luglio 2009

Anche in questo caso l'attestato di certificazione energetica va allegato all'atto, esso inoltre è indicato come presupposto per qualsiasi richiesta di contributo pubblico, agevolazione o detrazione fiscale, come quelli previsti dalla legge finanziaria.

5.2.2 Procedura di certificazione energetica e di qualificazione energetica

Per la **certificazione energetica**, il Ministero delle Attività produttive dovrà emanare entro 180 giorni le “linee guida nazionali” che conterranno, insieme alle “metodologie di calcolo di tutti i parametri” (nel frattempo si useranno quelle della legge 10/91), i “criteri per definire la prestazione energetica...” e soprattutto “*i requisiti professionali e di accreditamento per assicurare la qualificazione e l'indipendenza degli esperti cui affidare la certificazione energetica degli edifici ed i controlli degli impianti*”. Quindi evidentemente fino ad allora l'attestato di certificazione non potrà vedere la luce come tale.

La procedura di accreditamento dei certificatori richiederà comunque un certo tempo; l'auspicio è che essa risulti insieme credibile e snella, e che la procedura di certificazione non comporti una duplicazione completa di calcoli e spese dopo quelle della progettazione (opportunamente la legge parla di "minimizzazione degli oneri"); è legittimo richiedere, soprattutto, che nei metodi e nelle procedure di calcolo (oggi inglobati nei diversi programmi di calcolo usati dai progettisti termotecnici) vi sia omogeneità fra la progettazione e la verifica/certificazione, pena il rischio del verificarsi, a cose fatte, di inadempienze imprevedibili ex ante ed incolpevoli, con conseguenze che porterebbero ad una "conflittualità energetica" che nessuno auspica.

Fino ad allora, l'attestato di certificazione energetica è sostituito a tutti gli effetti dall'attestato di **qualificazione energetica**: esso ha praticamente gli stessi contenuti, ma è redatto da un "professionista qualificato, non necessariamente estraneo alla proprietà, progettazione e direzione dei lavori": cioè anche dal professionista che ha redatto il progetto termico. Questo deve essere asseverato dal direttore dei lavori a lavori ultimati insieme alla dichiarazione di conformità dell'opera al progetto termico; il deposito al Comune di questi documenti è condizione necessaria per il rilascio del certificato di abitabilità.

Una volta che sarà a regime la certificazione energetica (12 mesi dopo l'emanazione delle linee guida), l'attestato di qualificazione perderà la sua qualifica di sostituto dell'attestato di certificazione. Al Comune spetta sempre la responsabilità dei controlli, sia del progetto che dei lavori e delle opere eseguite (in corso d'opera o comunque entro 5 anni dalla fine dei lavori).

5.3 LA CLAUSOLA DI CEDEVOLEZZA, IL RUOLO DELLE REGIONI

L'art. 17 del decreto prevede la possibilità per le Regioni di prescrivere ulteriori norme di attuazione, che non possono tuttavia contraddire quelle della legge statale; ad esse è demandata tutta l'attività di sensibilizzazione della cittadinanza, di raccolta dei dati energetici degli edifici, di sorveglianza sugli impianti e qualsiasi iniziativa volta a ridurre il consumo energetico generale.

5.4 QUADRO DEGLI ADEMPIMENTI E DELLE RESPONSABILITA' (art. 15)

Il quadro che segue riassume gli adempimenti attribuiti alle diverse figure che intervengono nel processo ed il quadro di responsabilità e sanzioni previste dalla legge.

tabella 6. legge 192/05 e D.Lgs. 311/06: responsabilità e sanzioni

<i>soggetti</i>	<i>adempimenti</i>	<i>sanzione</i>
Progettista, Direttore lavori	relazione di progetto / attestazione non conforme	30% parcella
Progettista, Direttore lavori	relazione di progetto /attestazione non veritiera	70% parcella salvo costituisca più grave reato
Direttore lavori	omessa asseverazione	50% parcella (oltre a provvedimenti disciplinari)
Direttore lavori	falsa asseverazione	5000 € salvo costituisca più grave reato
Proprietario o conduttore	non osservanza norme esercizio impianto	sanzione 500÷3000 €
Operatore controllo e manutenzione	non osservanza norme esercizio impianto	sanzione 1000÷6000 €
Costruttore	mancata consegna attestato consumo energetico	sanzione 5000÷30000 €
Venditore	vendita: mancata allegazione dell'attestato al contratto	NULLITA' CONTRATTO
Locatore	locazione: mancata allegazione dell'attestato al contratto	NULLITA' CONTRATTO

5.5 CONTENUTI TECNICI PRESCRITTIVI

Sono tutti contenuti negli allegati tecnici (che sono ben otto documenti):

- **Allegato I:**

nell'allegato I (Regime transitorio), sono descritti i metodi da adottare per progettare l'edificio e verificarne la rispondenza alle norme. Sono indicati insieme a tutte le norme da osservare nel caso di installazione o sostituzione di generatori ed in genere nella esecuzione degli impianti, comprese le disposizioni che preludono all'impiego delle fonti di energia rinnovabile. Lo esamineremo più avanti.

- **Allegato C** (questo allegato definisce tutti i valori di riferimento):

sono qui riportate tutte le prescrizioni energetiche verso le quali dobbiamo orientare l'edificio, il generatore, l'impianto.

Di seguito, ecco la rassegna dei suoi contenuti, alla quale seguirà l'esposizione dei metodi per farne uso.

al punto 1) sono esposti i **limiti in termini di consumo energetico**: i valori dell' "indice di prestazione energetica EP_i ", ovvero i limiti di consumo di energia primaria per il riscaldamento annuo di un m^2 (o di un m^3) di

edificio: l'indice EP_i è quello che era denominato FEP, ("fabbisogno di energia primaria") fino alla pubblicazione del nuovo D.Lgs. 311/06, e parimenti si misura in Kwh/m^2 anno.

Per gli edifici residenziali privati sono indicati dei valori limite validi per il 2007, altri (ridotti) dal 1° gennaio 2008, altri dal 1° gennaio 2010; tutti gli altri edifici (ovvero quelli non residenziali e le residenze collettive come collegi, conventi, case di pena e caserme) sono soggetti a limiti analoghi ma espressi in Kwh/m^3 anno con le stesse fasce temporali.

ai punti 2), 3), 4) sono esposti dei **limiti puntuali** di trasmittanza, rispettivamente per le strutture verticali opache (le pareti), le strutture orizzontali opache (primo solaio e sottotetto), le chiusure trasparenti (quelle complessive dei serramenti e quelle di soli vetri); anche questi limiti hanno gli stessi riferimenti temporali di vigenza di cui sopra.

al punto 5) è esposto il **limite di rendimento** (globale medio stagionale) dell'impianto termico.

Poiché sono questi i valori che governano la progettazione da oggi in poi, prendiamo in esame alcune di queste indicazioni un po' più approfonditamente.

- **all. C Punto 1), limiti di EP_i**

E' necessaria una premessa, per passare dalle grandezze che si sono introdotte al cap.1 a questo EP del punto 1: in quel caso si parlava di trasmittanze e dispersioni, quindi ci si è fermati a grandezze che avevano le dimensioni di una potenza termica (trasmittanze in W/m^2K). Qui si parla di consumi ("consumi di energia primaria per anno", in Kwh/m^2 anno): per passare dall'una grandezza all'altra occorre moltiplicare per una differenza di temperatura in K e per il tempo del riscaldamento, nonché per le superfici di dispersione; poiché le differenze di temperatura variano di giorno in giorno, i calcoli ricorrono al parametro "gradi giorno" che caratterizza statisticamente ogni singolo comune; infine anche il consumo stagionale è specifico rispetto ad una superficie, ma si tratta di un m^2 di appartamento, non come nel caso delle trasmittanze, di un m^2 di parete.

E' forse il caso di aggiungere che il D.Lgs. 311/06 ha contribuito a fare chiarezza sui consumi energetici introducendo il valore di EP_i come concetto generale di consumo di energia primaria, (letteralmente, l'all. I, parla di "indice di prestazione energetica" EP_i) e specificando poi che il consumo di energia primaria totale di un edificio è dato dalla somma dei consumi parziali (e

quindi degli EP_p) dovuti ad un singolo uso energetico, quale il riscaldamento invernale, il condizionamento estivo, il riscaldamento di acqua calda sanitaria e l'illuminazione.

Ripromettendosi di interessarsi prossimamente anche di questi altri consumi, il legislatore ha qui specificato che i limiti ora indicati si riferiscono al solo riscaldamento invernale (letteralmente è detto condizionamento invernale); facendo con ciò giustizia di alcune interpretazioni che volevano che nei precedenti limiti di FEP fosse compreso anche il consumo per il riscaldamento di acqua calda sanitaria.

Ci si consenta ancora di ricordare che questi valori di EP_i sono gli stessi valori del FEP del precedente decreto, ma puntualizzati come di seguito esposto.

Innanzitutto si distinguono due grandi categorie di edifici: gli edifici residenziali in genere escluse le residenze collettive (la categoria E1, ma con l'esclusione di cui sopra), e tutti gli altri edifici, fra cui la sottocategoria residenziale delle residenze collettive.

Abbiamo quindi una serie di tabelle.

In ogni caso i limiti di EP non sono uguali in tutta l'Italia: essa è divisa in zone climatiche, (nelle tabelle, nelle colonne dalla A alla E), a seconda del loro andamento climatico espresso in "gradi giorno".

La Lombardia è in zona E, ogni suo comune ha un suo valore definito di gradi giorno, che si collocherà in un certo punto della scala dei gradigiorno dei vari comuni (in Lombardia, dal minimo 2101 al massimo di 3000; Milano, per esempio ha 2404 gg);

I valori di EP_i sono indicati nelle due righe in basso, e corrispondono ai valori per le due situazioni estreme di S/V caratterizzanti l'edificio: S/V inferiore a 0,2 (riga in alto) ed S/V superiore a 0,9 (riga in basso), ove S è la superficie esterna delimitante il volume e V è il volume stesso riscaldato.

Si deve quindi procedere due volte ad una interpolazione lineare: per i gradigiorno del comune e per il rapporto di S/V.

- Prima interpolazione: il valore esatto del limite di EP_i per un dato comune si ottiene in considerazione del suo valore di gradigiorno, per interpolazione lineare dai valori estremi di FEP, relativi ai valori estremi di gradi giorno citati per quella zona climatica (i valori saranno due, uno per $S/V = 0,2$ ed uno per $S/V = 0,9$);

- Seconda interpolazione: rispetto ai valori di S/V:
quale motivo è alla radice di questa differenziazione, già presente nella legge 10/91?
Gli edifici non sono tutti uguali: alcuni hanno poca “pelle” per molto contenuto volumetrico (tipicamente, gli edifici grandi e compatti; altri al contrario hanno molta “pelle” per poco contenuto: tipicamente, gli edifici monopiano e molto articolati come le ville.

Alcuni esempi: una villa monopiano a pianta semplicemente quadrata di 10x10 m ha un **S/V di 1,07** cioè superiore al massimo previsto di 0,9: ad essa la legge consente un **EP_i di 145 Kwh/m² anno** (per un comune con 3000 gradigiorno).

Un palazzo di metri 30x10 in pianta, alto 10 piani, cioè 30 metri, ha un **S/V di 0,34**, abbastanza vicino al minimo 0,2: ad esso la legge consente un **EP_i di 73 Kwh/m² anno** (vicino al minimo previsto di 55 Kwh/m² anno, ovvero meno della metà del valore di cui sopra sempre per un comune con 3000 gradi giorno).

Nota: attenzione: il palazzo suddetto può essere immaginato composto di tre appartamenti di 10x10 m per ogni piano, su tutti piani: se li considerassimo totalmente indipendenti (riscaldamento autonomo), ciascuno di essi avrebbe un S/V di 1,07!

La legge quindi consente logicamente più consumo energetico a quegli organismi edilizi che per natura, avendo più “pelle” non possono che disperdere di più; ma non in modo linearmente proporzionale, e con limiti precisi.

I valori validi per la Lombardia (si escludono i comuni montani in zona F, assimilando in zona E il comune di Limone del Garda, unico in zona D) sono evidenziati in giallo.

tabella 7: D.Lgs. 192/05 e D.Lgs. 311/06: limiti di **EP_i**, Kwh/m²anno per l'anno 2007; edifici residenziali privati

tab. 7	ZONA CLIMATICA										
S/V	A		B		C		D		E		F
<i>gradi giorno</i>	<600	601	900	901	1400	1401	2100	2101	3000	> 3000	
<0,2	10	10	15	15	25	25	40	40	55	55	
>0,9	45	45	60	60	85	85	110	110	145	145	

I valori della tabella 7 sono sostituiti a partire dal 1° gennaio 2008 da altri ridotti circa del 10%, e lo stesso dal 1° gennaio 2010; come risulta dalle tabelle seguenti:

tabella 7 bis: D.Lgs. 192/05 e D.Lgs. 311/06: limiti di EP_i Kwh/m²anno per l'anno 2008; edifici residenziali privati

<i>S/V</i>	E	
<i>gradi giorno</i>	2101	3000
<0,2	37	52
>0,9	100	133

tabella 7 ter: D.Lgs. 192/05 e D.Lgs. 311/06: limiti di EP_i Kwh/ m² anno a partire dall'anno 2010; edifici residenziali privati

<i>S/V</i>	E	
<i>gradi giorno</i>	2101	3000
<0,2	34	46,8
>0,9	88	116

Riportiamo quindi le rispettive tabelle valide per “tutti gli altri edifici” ovvero gli edifici non residenziali e le residenze collettive (collegi, conventi, carceri e caserme); da notare che essi sono espressi in Kwh/m³anno cioè a m³ dato che gli edifici non residenziali possono avere altezze interpiano diverse.

tabella 8: D.Lgs. 192/05 e D.Lgs. 311/06: limiti di EP_i Kwh/ m³ per l'anno 2007; edifici non residenziali

<i>S/V</i>	E	
<i>gradi giorno</i>	2101	3000
<0,2	12	16
>0,9	30	41

tabella 8 bis: D.Lgs. 192/05 e D.Lgs. 311/06: limiti di EP_i Kwh/m^3 per l'anno 2008; edifici non residenziali

<i>S/V</i>	E	
<i>gradi giorno</i>	2101	3000
<0,2	10,5	14,5
>0,9	26	36

tabella 8 ter: D.Lgs. 192/05 e D.Lgs. 311/06: limiti di EP_i Kwh/m^3 dall'anno 2010; edifici non residenziali

<i>S/V</i>	E	
<i>gradi giorno</i>	2101	3000
<0,2	9,5	12,7
>0,9	22,5	31

Non ci si può esimere da qualche commento immediato.

Per quanto riguarda gli edifici residenziali, la prima tabella è uguale a quelle del precedente decreto; nuova è la progressiva riduzione dei limiti, che già si fa sentire con scadenze temporali piuttosto ravvicinate.

La novità sostanziale è data dai nuovi limiti per gli edifici diversi dalle residenze private: essi sono espressi in m^3 ; quindi è logico che siano pari a circa un terzo di quelli residenziali. Va detto però che, se sarà impegnativo rientrare in questi limiti per gli edifici residenziali, quelli terziari, industriali, artigianali che usufruiscono di strutture prefabbricate necessiteranno di una attenzione al tema energetico radicalmente diversa da quella del passato; inoltre, è assai verosimile che il passo successivo del controllo energetico riguardi il condizionamento estivo.

I progettisti e l'industria delle costruzioni sono quindi chiamati da subito ad un grosso salto di qualità rispetto alle tecniche costruttive correnti.

5.6 SCALE DI RIFERIMENTO: IL METODO CASA CLIMA

E' opportuno a questo punto inserire un commento a proposito di una questione inerente la certificazione energetica: quei "valori di riferimento" che la legge vuole siano citati nella certificazione stessa per consentire al cittadino di "valutare e confrontare".

A prescindere dalla indicazione specifica dei valori di consumo sopraccitati (EP_i), si va diffondendo uno schema di valutazione che deriva dalla classificazione adottata nella provincia di Bolzano, da tempo all'avanguardia sul tema energetico, (esperienza "CasaClima").

Questo schema propone una scala che distingue gli edifici in classi definite appunto dal loro valore di EP_i , ed ha il grande pregio di risultare di immediata lettura, anche perché il pubblico ha già incorporato l'esperienza della classificazione energetica degli elettrodomestici (la pagella energetica per essi è da tempo obbligatoria per legge).

tabella 9: la classificazione Casaclima

<i>tab. 9</i> Classe dell'edificio	<i>fabbisogno di calore in</i> <i>Kwh/m² anno</i>
A	fino a 30
B	da 30 a 50
C	da 50 a 70
D	da 70 a 90
E	da 90 a 120
F	da 120 a 160
G	oltre 160

I limiti previsti dal D.Lgs. 192/05 e dal D.Lgs. 311/06 per gli edifici residenziali privati in Lombardia (2008) spaziano dalla classe B alla classe F di questa classificazione (non oltre la classe E nel 2010).

Se si considera questa classificazione si osserva però che essa comporta la sostanziale iniquità di ignorare il rapporto S/V, ovvero di mettere sullo stesso piano di valutazione un edificio unifamiliare ed un megacondominio, che non possono avere dispersioni e, di conseguenza, consumi specifici

comparabili; per usare una analogia, è come mettere sullo stesso piano una utilitaria ed una grande berlina, e dire che una grande berlina 2000 cc che percorra 20 Km con un litro è più “sprecona” di una utilitaria 500 cc che faccia 19 Km con un litro: il che è certamente vero, ma solo in senso assoluto.

Molto più congrue sembravano le prime formulazioni della legge regionale lombarda, che lasciavano la possibilità di differenti limiti per le diverse tipologie di edifici (edificio a torre, edificio in linea, edificio a schiera, unifamiliare); anche altre proposte attualmente in esame rispecchiano meglio le specificità degli edifici, che per natura sono più differenziati che non le lavatrici.

Punti 2), 3), 4), limiti di trasmittanza

tabella 10: limiti di trasmittanza U per pareti opache verticali (punto 2)

ZONA CLIMATICA	U (2007) (W/m ² K)	U (2008) (W/m ² K)	U (2010) (W/m ² K)
A	0,85	0,72	0,62
B	0,64	0,54	0,48
C	0,57	0,46	0,40
D	0,5	0,4	0,36
E	0,46	0,37	0,34
F	0,44	0,35	0,33

Si noti che come nel caso dei limiti di EP, siano indicate tre serie di limiti, quelli vigenti oggi (2007), quelli vigenti a partire dal 2008 e quelli vigenti a partire dal 2010; le variazioni del D.Lgs. 311/06 sono consistite nello sdoppiare la tabella delle “strutture opache orizzontali in quella delle coperture e quella del primo pavimento, e nell’anticipare al 2008 quanto già previsto a partire dal 2009, e nell’introduzione della terza colonna, dal 2010 in poi. Anche qui i valori decrescono di circa il 10% da una colonna all’altra.

Ricordiamo che è precisamente il valore che qui troviamo indicato per la nostra zona E quello preso come riferimento in tutte le valutazioni che faremo di seguito sulla trasmittanza delle pareti, ma sottolineando che esso vale ancora solo per pochi mesi del 2007 (lo stesso per i valori che compaiono nelle seguenti tabelle: strutture orizzontali,...).

Si noti al contempo la notevole diversità dei minimi indicati per le altre zone climatiche (quelli della

zona A sono praticamente il doppio). Di seguito per semplicità si riportano i soli valori per la zona E (Lombardia).

tabella 11: limiti di trasmittanza U per coperture (punto 3.1)

ZONA CLIMATICA	U (2007) (W/m ² K)	U (2008) (W/m ² K)	U (2010) (W/m ² K)
E	0,43	0,34	0,30

tabella 12: limiti di trasmittanza U per pavimenti su locali non riscaldati (punto 3.2)

ZONA CLIMATICA	U (2007) (W/m ² K)	U (2008) (W/m ² K)	U (2010) (W/m ² K)
E	0,43	0,38	0,33

tabella 13: limiti di trasmittanza U per chiusure trasparenti comprensive degli infissi (punto 4a)

ZONA CLIMATICA	U (2007) (W/m ² K)	U (2008) (W/m ² K)	U (2010) (W/m ² K)
E	2,8	2,4	2,2

tabella 14: Punto 4 limiti di trasmittanza U per le vetrate dei serramenti

ZONA CLIMATICA	U (2007) (W/m ² K)	U (2008) (W/m ² K)	U (2010) (W/m ² K)
E	2,4	1,9	1,7

Va ricordato che tutti quelli sopra citati sono i limiti massimi della legge nazionale;

Lo scadenzario di questi limiti progressivamente decrescenti praticamente impone all'industria vetraria una innovazione accelerata di ricerca e produzione.

Marginalmente si ricorda con l'occasione che si porranno problematiche particolari, tipo quelle delle vetrine dei negozi, a tutt'oggi in semplice cristallo, con valori doppi o tripli di quelli ammessi.

Punto 5), limite di rendimento globale medio stagionale dell'impianto termico

Questo è già stato introdotto nel precedente capitolo sugli impianti:

$$\eta_g = (75 + 3 \log P_n) \text{ espresso in \%}$$

Il D.Lgs. 311/06 ha introdotto la novità che per potenze nominali superiori a 1000 kW (i grandi impianti) la soglia minima di rendimento è comunque dell'84%.

Va aggiunto che altre condizioni di rendimento sono introdotte nell'all. I. del D. Lgs. 311/06.

5.7 I METODI DI PROGETTO E VERIFICA

Sono indicati nell'allegato I, che è intitolato "Regime transitorio", ma che ci si augura abbia una valenza piuttosto duratura: già tutti i programmi di calcolo concepiti per il D.Lgs. 192/05 e D.Lgs. 311/06 devono oggi venire aggiornati alle nuove norme del DM 311/06 in modo sostanziale.

Sono ancora previsti un **metodo generale** ed un metodo di **verifica parziale o semplificato**, ma con verifiche più complesse e limiti più restrittivi che nel regime precedente del D.Lgs. 192/05 e D.Lgs. 311/06.

Vediamoli caso per caso.

5.7.1 Metodo generale

I limiti di consumo di energia primaria EP_i più verifiche puntuali è previsto per nuove costruzioni, ristrutturazioni "integrali", compresa la demolizione e la ricostruzione in manutenzione straordinaria, per edifici maggiori di 1000 m², ampliamenti (se essi risultino maggiori, in volume, del 20% dell'intero edificio, applicazione limitata al solo ampliamento).

In pratica, la legge dispone:

- un limite globale all'energia che il nostro organismo edilizio può consumare;
- le caratteristiche di trasmittanza delle superfici che delimitano l'edificio ("come vestire e quanto coprire" le varie parti) restano a scelta del costruttore, ma solo nel limite del 30 % in più rispetto ai valori limite puntuali dei punti 2), 3), 4) all. C del D. Lgs. 311/06;
- il rendimento globale medio stagionale dell'impianto deve comunque rispettare il limite minimo del punto 5, come prima.

5.7.2 Metodo semplificato

Questo metodo consiste in verifiche puntuali ed è previsto, in linea generale, per i casi "minori" che non rientrano nell'ambito generale visto sopra, ovvero per: ristrutturazioni integrali di edifici minori

di 1000 m², ristrutturazioni parziali di edifici maggiori di 1000 m² e comunque, come specifica l'all. I al punto 2, "... opere che prevedano, a titolo esemplificativo e non esaustivo, rifacimento di pareti esterne, intonaci esterni, tetto od impermeabilizzazioni..", cioè in sostanza ogni qual volta si pone mano a qualche struttura edilizia significativa: la legge dispone in questo caso degli adeguamenti parziali, nel senso che la parte sostituita deve adeguarsi ai valori prescritti per quel tipo di componente edilizio. L'adeguamento comporta anche la verifica di parametri che riguardano l'impianto. Di seguito la rassegna delle verifiche:

- verifica che siano rispettati tutti i limiti puntuali di cui sopra (le trasmittanze per i vari tipi di superfici verso l'esterno o locali non riscaldati: superfici opache verticali, opache orizzontali di copertura e di pavimento, chiusure trasparenti e metrature. Le trasmittanze da verificare sono quelle calcolate "a ponte termico corretto" (il testo specifica che in caso contrario occorre verificare il valore "medio" fra la trasmittanza della parete e quella del ponte termico; con la riserva di tornare sull'argomento nell'apposito capitolo, si anticipa qui che questo meccanismo rischia di mettere in crisi le tipologie costruttive correnti; inoltre, c'è l'espressa avvertenza che non vi devono essere parti, pur limitate, a ridotto spessore e minore trasmittanza (vedi oltre: ponti termici, sottofinestra);
- verifica del rendimento globale medio stagionale dell'impianto η_g , così come sopra indicato (punto 5). Questa norma vale anche nel caso parziale di sostituzione di impianti esistenti o del solo generatore, con ulteriori avvertenze: in tal caso infatti, se il generatore ha potenza nominale superiore a 100 kW, è richiesto di allegare alla relazione tecnica una "diagnosi energetica dell'edificio e dell'impianto" nella quale si individuino gli elementi per una possibile riduzione della spesa energetica, con calcolo dei relativi investimenti e del tempo di ritorno degli stessi. Il disposto vale anche nel caso in cui, in occasione della sostituzione, si frazioni la caldaia in diverse caldaie individuali, ove la somma delle potenze superi i 100 kW;
- al punto 4, che vale in tutti i casi in cui si abbia la sostituzione del generatore di calore, si introducono poi una serie di disposizioni che, se rispettate, comportano automaticamente la verifica del η_g del punto precedente, senza dover procedere alla schematizzazione e verifica dell'impianto. Esse riguardano:
 1. Il limite del rendimento proprio del generatore stesso (attenzione, non del rendimento globale dell'impianto, già visto al punto precedente); esso è:
 $\eta = (90 + 2 \log P_n)$ ove η indica il rendimento al 100% della potenza e $\log P_n$ il logaritmo in base 10 della potenza nominale;

2. parimenti, il rendimento proprio del generatore stesso nel caso in cui esso sia una pompa di calore: $\eta_u = (90 + 3 \log P_n)$ valendosi del fattore di conversione fra energia elettrica ed energia primaria pari a 0,36 W energia elettrica / Wh energia primaria;
3. la presenza una centralina di termoregolazione programmabile per ogni generatore (per la quale si specificano i dettagli tecnici) e dispositivi modulanti per la regolazione automatica della temperatura, per le singole zone che possano godere di apporti solari diversi;
4. la giustificazione con un apposito dimensionamento, nel caso la potenza nominale al focolare venga aumentata;
5. nel caso di generatori condominiali, la verifica della corretta equilibratura in ogni unità immobiliare, correggendo eventuali squilibri (caso pressoché generale negli impianti datati);
6. nel caso di sostituzione di generatori di potenza inferiore a 35 kW (le cosiddette "caldaiette" individuali) la delega alle autorità locali della valutazione dell'obbligo o meno di presentazione della relazione tecnica.

5.7.2.1 Commento

Le nuove norme pongono in forte evidenza gli interventi sugli edifici esistenti.

Di fatto, la sostituzione di qualsiasi elemento edilizio (un tamponamento, una copertura od impermeabilizzazione) o, secondo lo spirito della legge, anche il rifacimento generale dell'intonaco esterno comporta ora una accurata valutazione dell'aspetto energetico

Nel caso di intervento sugli impianti o sostituzione di generatore, se appare del tutto logica la norma che impone un valore minimo del rendimento del generatore, la previsione della verifica del rendimento globale medio stagionale sembra di ardua praticabilità.

Se pensiamo al caso tipico di un edificio condominiale degli anni '50 o '60 (che in effetti è un grosso consumatore di calore), la schematizzazione dell'impianto, all'interno dell'edificio esistente, appare di non facile realizzazione e resta comunque una rappresentazione piuttosto astratta; accertamente il legislatore ha previsto una serie di misure puntuali alternative, che se realizzate

rendono l'impianto "conforme"; la difficoltà concreta resta quella dell'esigenza di equilibratura dell'impianto fra i vari appartamenti, nonché la previsione di sistemi di regolazione che consentano la modulazione del riscaldamento in funzione di variazioni imprevedibili come il soleggiamento: nel classico caso, di cui sopra, del condominio anni '50 con impianto a colonne montanti, non si vede al momento altra soluzione che quella della installazione di valvole termostatiche. Va però aggiunto che queste previsioni fanno intravedere una sostanziale evoluzione rispetto alla situazione attuale che vede correntemente, in questi casi, uno scenario generale di conflittualità condominiale e sprechi sistematici. Bene ha fatto in proposito il legislatore a prevedere che gli interventi di cui sopra siano deliberati, a livello di assemblea condominiale, con la maggioranza semplice.

Ci si può peraltro avvalere di questo metodo semplificato nei casi generali (nuova costruzione,...) verificando, in questo caso, la corrispondenza a tutti i parametri puntuali come sopra indicati e previa alcune verifiche preliminari:

- che il rapporto fra la superficie trasparente complessiva dell'edificio e la sua superficie utile (abitabile) sia inferiore a 0,18 (a titolo di confronto il valore 1/8 imposto dalle norme di igiene vale 0,125);
- che la temperatura di progetto del fluido termovettore non superi i 60 K.

A titolo di commento si osserva che la previsione legislativa di ricorso a questo metodo semplificato (in subordine ed in alternativa alla applicazione del metodo generale) costituisce una facilitazione (soprattutto in caso di edifici di minore impegno ed entità economica) per quanti non vogliono impegnarsi nel calcolo generale, che presenta una sua complessità e sofisticazione; in questo senso si assume che l'edificio non superi il limite di EP_i (consumo di energia primaria) previsto, se le varie parti del suo "vestito" abbiano un valore di isolamento non inferiore a quello indicato, e che il "fornello" abbia un rendimento non inferiore a quello indicato.

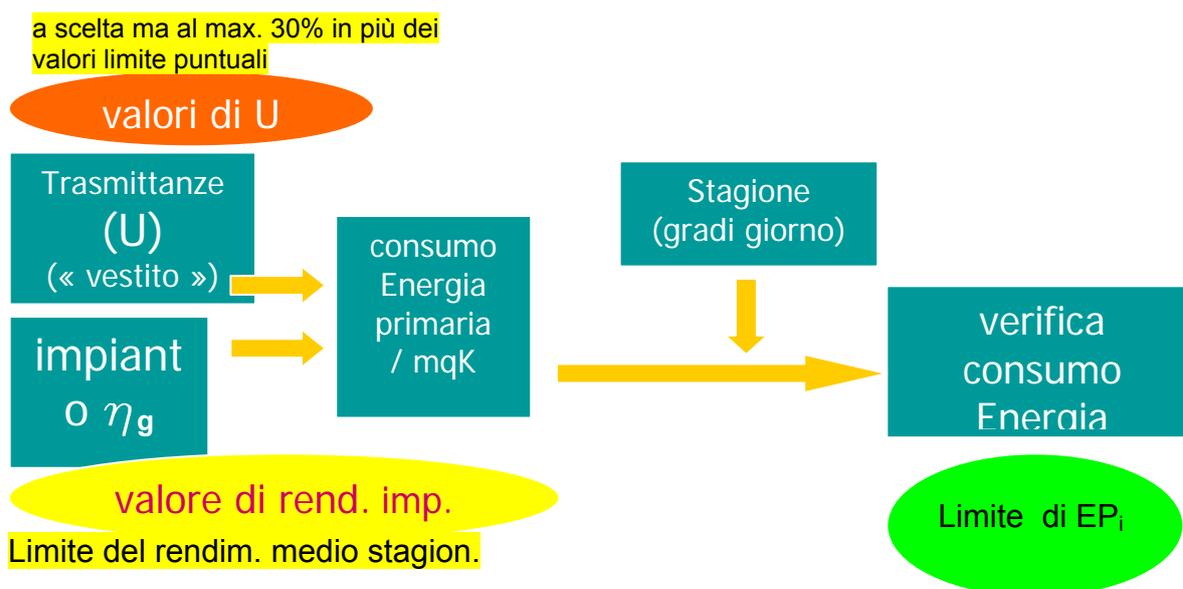
La verifica preliminare della percentuale di superfici finestrate ha in tale ottica un senso preciso, se si considera che esse hanno comunque una trasmittanza multipla di quella delle parti cieche.

La verifica con il metodo semplificato tuttavia non garantisce affatto che l'edificio rientri nei limiti di EP_i ; nulla in realtà lo garantisce, tanto più quanto più il rapporto S/V è elevato.

5.8 SCHEMATIZZAZIONE DEI METODI DI PROGETTO E VERIFICA

Si ritiene utile riepilogare l'impostazione dei due metodi in modo schematico

fig. 3: schema del procedimento di verifica col metodo generale (limite di EP_i)



Qualche commento sul consumo di energia primaria.

Supponendo una costante richiesta di calore per il riscaldamento, il consumo è ridotto dai cosiddetti "apporti gratuiti": si tratta degli apporti di energia termica di cui l'organismo edilizio beneficia comunque, e che possono non essere trascurabili.

In pratica essi sono:

- tutti quelli derivanti dall'impiego di apparecchiature elettriche: fra esse ce ne sono alcune (per es. un ferro da stiro) il cui prodotto è direttamente il calore (1 kW); ma anche nell'illuminazione, solo una parte dell'energia viene trasformata in energia luminosa, il resto va in calore, e può risultare rilevante (si pensi alla notevole potenza luminosa consumata in un negozio). Di questi apporti i programmi di calcolo tengono conto in vari modi approssimati. Le persone stesse emanano calore, tanto che in luoghi affollati (per es. sale conferenze) occorre tenerne conto esplicitamente;
- l'energia solare che entra dalle finestre: l'effetto è ben apprezzabile, sia d'inverno che d'estate (quando infatti è opportuno schermare le finestre); anche di questo normalmente i

programmi tengono conto, considerando l'orientamento delle stesse ed eventuali fattori di ombreggiatura. Come visto poco sopra, la legge impone che, anche nel caso di rifacimento di impianti, la regolazione possa tenere conto di questo apporto;

- circa l'energia necessaria per il riscaldamento dell'acqua calda sanitaria, il recente decreto ha fatto chiarezza: essa non è compresa nel limite di EP_i. Il decreto peraltro si preoccupa che sia assicurata anche in questo caso una buona efficienza; ed in particolare si rimanda a quanto esposto oltre in tema di energie rinnovabili;
- è anche il caso di ricordare che la legge non trascura l'energia spesa per il condizionamento estivo (la definizione di "impianto termico" dell'art 7 comprende anche la climatizzazione estiva).

tabella 15: schema del procedimento di verifica col metodo semplificato (limiti di trasmittanze , di rendimento,...)

<i>disposizioni di legge in relazione agli interventi</i>	<i>condizioni preliminari: rapporto sup.fin. temperat. fluido</i>	<i>limiti di trasmittanza pareti opache. finestrature</i>	<i>limiti di rend. impianto limiti di rend. generatore altre condizioni centraline, equilibratura,.</i>
RISTRUTTURAZIONE PARZIALE; sostituzione di parti edilizie		○	
RISTRUTTURAZIONE PARZIALE; sostituzione impianto sostituzione generatore			○
RISTRUTTURAZIONE INTEGRALE NUOVA COSTRUZIONE (IN ALTERNATIVA AL METODO GENERALE)	○	○	○

Note: nella prima riga ci si riferisce al caso di cui all'art 3, punto 2) c 1
 nella seconda riga ci si riferisce al caso di cui all'art 3, punto 2) c 2
 nella terza riga ci si riferisce al caso di cui all'art 3, punto 2) a e b

5.9 OBBLIGHI DIVERSI, ENERGIE RINNOVABILI: QUESTIONI APERTE

L'allegato I (che si intitola "Regime transitorio per la prestazione energetica degli edifici") prevede ulteriori prescrizioni di diverso genere:

- (punto 7): impone una trasmittanza inferiore a 0,8 per "tutte le strutture edilizie di separazione tra edifici o unità immobiliari..". La dicitura rinvia, nel caso dell'edilizia residenziale privata, alle pareti di separazione fra appartamenti e vani scala, e fra appartamenti stessi. Si suppone implicitamente un riferimento alle strutture verticali; la portata dell'obbligo cambia sostanzialmente se sono comprese anche le strutture orizzontali: i solai interpiano fra appartamenti diversi, non specificamente isolati agli effetti termici, non soddisfano questo valore.

E' il caso di osservare che il valore $0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ non è trascurabile: esso è dell'ordine di quello dei tamponamenti esterni in regime di legge 10/91. La questione diventa vieppiù problematica con la frase successiva che specifica "il medesimo limite ... per tutte le strutture opache, verticali, orizzontali ed inclinate che delimitano verso l'ambiente esterno gli ambienti non dotati di impianto di riscaldamento". Ci si chiede a che cosa si riferisca questa frase: nel caso dell'edilizia residenziale, a garages e cantine; ovvero, nel caso dell'edilizia industriale ed artigianale, a magazzini, officine o comunque ambienti non riscaldati? Sarebbero forse opportuni dei chiarimenti. In ogni caso, il salto è sostanziale, rispetto alle tecniche correnti di esecuzione edilizia, prefabbricata od in opera che sia, di questo genere di locali. Praticamente, non si potrà più costruire un muro (che non sia un tramezzo) od un solaio che non abbiano una trasmittanza inferiore a 0,8:

- si preoccupa del regime estivo, ed al fine di minimizzare i consumi per condizionamento:
 - impone sistemi schermanti (esterni ed interni) per le finestrate (punti 9a e 10, allegato I del D.Lgs. 311/06);
 - impone che la massa superficiale (ovvero il peso per m^2) delle pareti verticali, orizzontali ed inclinate (praticamente, tamponamenti e coperture) sia superiore a 230 kg/m^2 ; questo, in tutte le località ove il valore medio mensile dell'irradianza solare sul piano orizzontale sia maggiore o uguale a 290 W/m^2 . E' questa una disposizione volta ad ottenere una inerzia termica che smorzi adeguatamente le oscillazioni di temperatura interna per effetto del soleggiamento; essa non è da sottovalutare, perché con coperture in legno questi valori di massa superficiale non vengono raggiunti, ed anche nel caso dei tamponamenti questo non è scontato; vero è che la disposizione lascia la porta aperta alla adozione di "diverse tecniche

e materiali...” che conseguano risultati equivalenti, ma anche questo è da giustificare;

- raccomanda al progettista di favorire la ventilazione naturale o meccanica dell’edificio;
- il sistema di regolazione dell’impianto termico deve prevedere la possibilità di parzializzazione nelle zone che possano valersi degli apporti solari, come sopra definiti;
- infine, nei punti dal 12 al 14, l’allegato I si occupa di energie rinnovabili o comunque vantaggiose:
 - al punto 12 esso dispone che “per tutti gli edifici di cui al cap. 3 del D.P.R. 412 del 26/08/93” (in pratica, per tutti gli edifici a destinazione non agricola) “è obbligatorio l’utilizzo di fonti rinnovabili per la produzione di energia termica ed elettrica”. In particolare, in tutti gli edifici nuovi o comunque in caso di ristrutturazione di impianti termici esistenti, “...*almeno il 50% del fabbisogno annuo di energia primaria (...) per la produzione dell’acqua calda sanitaria* “ deve essere assicurato dall’utilizzo dell’energia solare (il 20% nei centri storici). Si specifica anche, al punto 13, che negli edifici di nuova costruzione o in ristrutturazione integrale è obbligatoria l’installazione di impianti fotovoltaici per la produzione di energia elettrica;
 - l’osservanza di tali obblighi è di fatto rinviata a quando sarà emanato il DPR a cura del Ministero (entro 120 giorni dal 2 febbraio 2007), che detterà le relative norme tecniche. Si specifica fin d’ora comunque, che, in seguito, nella relazione di progetto preliminare all’inizio dei lavori il progettista dovrà prevedere quanto sopra e che, in mancanza di ciò, essa sarà irricevibile;
 - si prevede anche (punto 14) che in presenza di reti di teleriscaldamento esistenti o pianificate, in caso di nuove costruzioni o ristrutturazioni integrali è obbligatoria l’esecuzione delle condotte preordinate all’allacciamento alla rete.

6. EDIFICI PLURIFAMILIARI MULTIPIANO

In un edificio in linea multipiano (quello preso ad esempio considera una pianta di 400-500 m², 4-5 piani fuori terra), ci si ritrova con rapporti S/V dell'ordine di 0,4 - 0,6 che comportano un FEP limite intorno a 0,70 - 0,90 "classe C".

6.1 Proposta per valutare il peso delle dispersioni, per poter orientare il nostro intervento.

Considerando fissa la quota di dispersioni per ventilazione, per valutare quella per trasmissione in ordine di importanza e quindi la priorità del suo isolamento, può risultare utile considerare una tabella del tipo che segue, ove, per un edificio tipo si riportano, per ogni categoria di superficie disperdente:

la superficie complessiva e la sua incidenza rispetto al totale, il salto termico che interessa quella superficie ed il prodotto dell'una per l'altro, che ci dà la misura dell'importanza di ogni categoria sul totale.

tabella 16: edifici multifamiliari: percentuali di incidenza delle superfici

	% su Stot	salto termico		incidenza % sul tot corretta con salto temp
	a	b	c	d
		delta t	a x b	
1°solaio	15	20	300	12,82
ult. solaio	15	25	375	16,03
pareti est.	53	25	1325	56,62
pareti scale	17	20	340	14,53
	100		2340	100

Qualche commento:

- per il **primo solaio** (ipotizzato su cantinato, che giustifica un salto termico ridotto): l'incidenza è abbastanza modesta, **13%** del totale), per il suo isolamento si pongono questi problemi: se esso è all'intradosso (sottopavimento) esso potrà risultare discontinuo (per stanza), quindi con possibilità di ponti termici, e tendenzialmente

costoso per la necessità di impiego di isolanti ad alta densità oppure, se eseguito con malte isolanti alleggerite, per la necessità di notevoli spessori (con conseguente peso); se invece esso è previsto all'intradosso, sarà tendenzialmente continuo, ma comunque costoso per la necessità di uno strato di finitura a vista (che potrà però svolgere anche altre funzioni: antincendio e di fonoassorbenza).

Ipotizziamo di impostare la sua trasmittanza U nella misura indicata come limite (2007) dal D.Lgs. 192/05 e D.Lgs. 311/06 (punto 3, tabella 10) ovvero $0,43 \text{ W/m}^2\text{K}$;

- l'**ultimo solaio** ha una incidenza discreta: 16%. Se si tratta del solaio di un sottotetto non abitabile l'isolamento potrà essere piuttosto omogeneo (attenzione però nel caso di formazione delle falde di tetto con muricci); se eseguito con materassini, l'isolamento risulterà poco costoso: converrà quindi non lesinare con esso. Nel caso di sottotetti abitabili occorre invece isolare la falde del tetto; isolare sarà più complesso ma converrà comunque abbondare per questioni di comfort;

Ipotizziamo anche qui di impostare la trasmittanza U con lo stesso valore, ovvero $0,43 \text{ W/m}^2\text{K}$;

- le **pareti verticali** chiaramente complessivamente fanno la parte del leone (56% + 14%) Fra queste le pareti sul vano scala sono minoritarie (14%); solitamente non si presta gran peso al loro isolamento, per la tendenza a ridurre gli spessori.

Ipotizziamo anche per queste la trasmittanza "normale" di legge: $U=0,80 \text{ W/m}^2\text{K}$;

- le **pareti verticali esterne** (le cosiddette facciate) costituiscono il grosso delle dispersioni; questo vale tanto più quanto più aumenta il numero dei piani. Inoltre esse si compongono di diverse parti (quelle cieche e quelle vetrate); la presenza della struttura (siamo classicamente nel campo delle strutture intelaiate, con travi, pilastri e balconi), fa sì che qui si ritrovino tutte le occasioni di ponti termici; è quindi giustificato uno studio accurato caso per caso. Le pareti potranno essere a cassetta, ove classicamente l'isolante è nell'intercapedine; ma si potrebbe prevederlo anche completamente all'esterno (sistema a cappotto, col vantaggio della eliminazione completa dei ponti termici) o, all'opposto, verso la faccia interna (dietro pannelli di cartongesso, sistema francese).

Ci saranno le diverse dimensioni ed opzioni di finestre e vetrate.

La trasmittanza media, comunque, sarà sempre notevolmente maggiore di quella della parete cieca ideale perché le altre parti componenti (le finestrate, strutture con ponti termici), hanno trasmittanze che sono multiple della parete cieca normale.

- per poter valutare la **trasmissione media** consideriamo una tabella come la seguente (tabella 17). Essa evidenzia le dispersioni relative in termini percentuali dei vari elementi in una specchiatura tipo di facciata (4,00 m di lunghezza, 3,00 m di altezza) evidenziando l'incidenza di tutti gli elementi, la parete normale, ma anche i ponti termici strutturali (pilastro largo 40 cm, trave ribassata di 10 cm) ed inserendo anche gli altri elementi energeticamente significativi, costituiti dalle finestre (una finestra media di 1,20 x 1,50 m di altezza, con tapparella) e relativi ponti termici; si ipotizza sempre per la parete cieca "normale" la trasmissione "normale" di legge, pari a 0,46 W/m²K.

tabella 17: modulo tipico di tamponamento per gli edifici multipiano: percentuali di incidenza delle dispersioni dei vari elementi

	λ	η	super f.	in % sul tot	Trasmit U	salto temp	Dispers	disp. in % sul totale	disp. per categoria		
	m	m	m ²		W/m ² K	K	W		parete normale	ponti termici	finestre
specchiatura tot	4,0	3,0	12,0								
trave	4,0	0,3	1,20	0,10	2,00	25	60,00	15,02		60,00	
pilastro	0,4	2,7	1,08	0,09	2,00	25	54,00	13,52		54,00	
parete isolata norm.	2,6	2,7	7,02	0,59	0,46	25	80,73	20,21	80,73		
sottofinestra	1,4	1,0	1,40	0,12	0,70	25	24,50	6,13		24,50	
ponti term. finestra	0,1	4,2	0,42	0,04	2,50	25	26,25	6,57		26,25	
cassonetto	1,4	0,5	0,70	0,06	2,00	20	28,00	7,01		28,00	
finestra	1,2	1,5	1,80	0,15	2,80	25	126,00	31,54			126,00
totali							399,48		80,73	78,75	126,00
								in %	20,21	19,71	31,54
					U media conv:		1,33				

Si osservino i risultati; come si vede, inserendo i valori di legge per la parete "normale" e le finestre e considerando i ponti termici "corretti" nel modo corrente (si è ipotizzato il pilastro e la trave coperti da un tavellone 4 cm), risulta che la parete "normale" è responsabile solo del 20% delle perdite, i ponti termici del 19% e la finestra del 31%; la trasmissione **media** della specchiatura nel complesso risulta pari a **1,33 ovvero quasi tre volte** il valore 0,46 della parete cieca normale.

Proviamo ora ad inserire questo valore medio $U=1,33$ insieme agli altri ipotizzati per le altre parti dell'involucro nella tabella 18. Si ottiene:

tabella 18: edifici multipiano: percentuali di incidenza delle diverse superfici

EDIFICIO MULTIPIANO	% su Stot	salto termico		incidenza % corretta con salto temp	trasmissione U	dispersione convenzionale: a x b x e	incidenza %
	a	b	c	d	e		
		K	a x b				
1°solaio	14,5	20	291	12,40	0,43	125,09	5,3
ult. solaio	14,5	25	364	15,50	0,43	156,36	6,6
pareti est.	54,5	25	1.364	58,14	1,33	1815,82	77,0
pareti scale	16,4	20	327	13,95	0,8	261,82	11,1
	100		2.345	100		2359,09	100,0

dalla quale risulta essere ben più preponderante il peso complessivo della parete esterna considerata complessivamente (77%).

In questa tabella non sono leggibili le incidenze separate delle finestrate e dei ponti termici.

A questo scopo riportiamo a titolo di esempio la tabella seguente, relativa all'esame di un edificio reale (diverso da quello precedentemente considerato ma tipologicamente simile).

tabella 19: edifici multifamiliari: percentuali di incidenza di tutti gli elementi

	incidenza %
1°solaio	6,36
ultimo solaio	3,12
pareti esterne cieche	30,36
finestre	46,5
ponti termici	13,76
	100,5

Si confermano, anche in questo caso, la grandissima rilevanza delle finestre, a seguire, quella delle pareti esterne cieche verticali, indi quella dei ponti termici (che fra l'altro in quella occasione erano stati valutati in modo ottimistico):

- per le finestre, a parte l'attenzione nel dimensionarle, anche con riguardo all'esposizione (guadagni solari a sud), le alternative non sono molte: per serramento, legno o alluminio,...; per le metrature è scontato l'impiego di vetrocamera, l'unica vera alternativa è quella dei vetri bassoemissivi;
- per la parete esterna "normale" le alternative sono molteplici e la definizione dell'isolante ha un rilievo particolare, si da giustificare l'approfondimento che segue.

6.2 Valutazione dello strato isolante della parete cieca verticale

Volendo orientarsi circa l'impiego dell'isolante in una ottica tecnico-economica, limitandosi per semplicità alla tipologia più frequente in questo caso, cioè il tamponamento a cassetta con isolante interposto nella camera d'aria, può risultare utile impostare una tabella come quella che segue.

In essa ci si propone di conseguire la trasmittanza indicata ($0,46 \text{ W/m}^2\text{K}$) che comporta una R globale determinata.

Deducendo da questa le resistenze parziali dei singoli componenti "fissi" (cioè tutti tranne l'isolante) si ottiene la resistenza r che deve esser fornita dall'isolante; a questo punto, avendo a disposizione tutta la gamma degli isolanti in commercio, caratterizzati ognuno da una λ e da un costo unitario, si può determinare lo spessore necessario ed il costo unitario nei vari casi.

tabella 20: confronto economico isolanti semirigidi

ANALISI DEI COSTI DI ISOLANTE per una parete a cassetta, (isolante nell'intercapedine)											
TRASMITTANZA desiderata		U		(W / m ² K)		0,46					
RESISTENZA R necessaria		R= 1/ U		2,17							
R= somma di r ₁ +r ₂ +r ₃ +...+r _n											
<i>Rassegna isolanti in alternativa</i>											
costituzione strato		spess	condutt	resist	sughero	lana di roccia	lana di vetro	polistirene esp. Sint.	poliuretano esp.	polistirolo/ poliestere	
		cm	λ	R							
elementi fissi	1	resistenza liminare aria interna			0,123						
	2	intonaco interno (gesso)	1	0,7	0,014						
	3	Mattone Forato interno 8 cm	8	0,47	0,172						
	4	Mattone Forato esterno 12 cm	12	0,47	0,258						
	5	intonaco esterno	1,5	0,87	0,017						
	6	resistenza liminare aria esterna			0,043						
totale resistenza pre isolante					0,627						
resistenza mancante: 2,17-0,737					1,55						
strato isolante	Conduktiv. λ del materiale					0,045	0,038	0,038	0,040	0,032	0,040
	spessore necessario (s in cm)		Pari a s=(Rxλ) x 100			6,96	5,88	5,88	6,19	4,95	6,19
	costo in opera, € m ²					14,66	6,21	11,53	12,47	10,67	5,18
	per spess. arrotondato cm					7	6	6	6	5	6

Avvertenze nella lettura della tabella:

- Poiché il valore della trasmittanza costituisce il “voto in pagella” per un isolante, è ovvio che i produttori si impegnino a diffondere i valori più vantaggiosi per loro; nella tabella 20 soprariportata è indicato **un** valore di λ per ogni materiale, che pur ben fondato (norme DIN), ha valore solo in prima approssimazione, per esemplificare un metodo, che ogni costruttore potrà utilizzare inserendo i valori più idonei; il valore esatto, comunque, varia al variare di diversi fattori, di cui i programmi di calcolo tengono conto:
 - il grado di umidità (il valore λ aumenta considerevolmente all'aumentare dell'umidità);
 - il peso specifico: per gli espansi la proprietà isolanti aumentano con l'aumentare del peso specifico del pannello (l'aria contenuta viene frazionata in più strati o bolle più piccole); negli isolanti fibrosi è il contrario;
 - le modalità di produzione (pannelli estrusi) e di finitura (pelle superficiale, battentatura).

Al variare di questi fattori, il λ può variare anche del 10% in più o in meno; resta il fatto che in prima approssimazione il sughero è quello che isola meno, il poliuretano quello che isola di più, in mezzo gli altri; il fatto che si vuole sottolineare è che comunque – sempre restando nel campo dei pannelli semirigidi per pareti – la variazione dei prezzi non è in relazione diretta con la variazione delle capacità isolanti: resta il fatto che, agli effetti isolanti, la valutazione economica ultima è costituita dal rapporto costo al m^3/λ ; anche se questa valutazione è di difficile formulazione, perché è difficile determinare il costo a m^3 per materiali che sono forniti in lastre di spessori predefiniti.

- Si precisa che i costi dei materiali indicati (posti in opera) sono ricavati dal bollettino prezzi della CCIAA di Milano, alcuni in modo indiretto: si tratta di indicazioni che ogni operatore farà bene a verificare.
- E' compito peculiare del costruttore valutare le modalità di posa del materiale, e quindi il suo costo effettivo. Va detto, a questo proposito, che le modalità di posa possono grandemente influenzare il risultato: è importante che il rivestimento isolante aderisca bene alla superficie da isolare, senza lame d'aria interposte; inoltre i vari pannelli devono essere ben congiunti senza discontinuità.
- La problematica acustica: è una questione che per ampiezza e complessità richiede una trattazione a sé stante; tuttavia l'esigenza concreta è quella di definire pareti e solai che soddisfino contemporaneamente anche i requisiti acustici. Sotto questo aspetto ci si limita

qui a ricordare, in tema di isolanti, che gli isolanti fibrosi presentano sempre un effetto di attenuazione acustica, mentre gli isolanti leggeri espansi presentano spesso una frequenza di risonanza propria vicina a quella dei rumori da attenuare, con l'effetto di amplificarli anziché di attenuarli o comunque non danno un contributo all'isolamento acustico; occorre quindi porre molta attenzione.

- Infine, poiché è il costruttore che sceglie, a lui è affidata in ultima analisi la valutazione della durabilità dell'isolante, cosa assai importante per l'acquirente. Si ricorda a questo proposito l'obbligo ormai tassativo di impiegare isolanti certificati.

6.3 Valutazione dell'isolamento del solaio di sottotetto

In analogia al caso della parete cieca verticale riportato sopra, per una valutazione delle alternative di isolamento di un solaio di sottotetto, si può ricorrere ad una tabella come quella riportata qui di seguito.

In essa ci si ripropone di conseguire la trasmittanza "normale" di legge 0,43 e, come nell'esempio precedente, dedotti i valori delle resistenze "fisse" (resistenze liminari, solaio, intonaci) si calcola la resistenza mancante necessaria, da conseguire tramite uno strato isolante.

Parimenti a questo punto, data la gamma degli isolanti disponibili, ognuno caratterizzato dalla sua conduttività λ , si ricava lo spessore necessario nei vari casi; applicando i costi unitari, si ottiene il costo dell'isolamento.

Valgono le stesse avvertenze circa il valore indicato per la conduttanza λ e per i costi unitari adottati, tratti anche qui dal bollettino prezzi della CCIAA di Milano; si è aggiunta una riga riferita ai soli costi del materiale, perché anche in questo caso la indicazione dei costi in opera sembra seguire criteri non omogenei da caso a caso; anche qui si invita l'operatore a utilizzare il metodo, inserendo valori da lui verificati.

Si osserva che, pur dovendo ottenere un isolamento complessivamente maggiore, i costi sono generalmente inferiori rispetto al caso della parete di tamponamento: ne consegue logicamente che questo è un capitolo dell'isolamento che, anche economicamente, sarebbe opportuno incrementare; anche la norma del resto lo prevede a partire dal 2008.

tabella 21: confronto economico isolanti in un sottotetto non praticabile

ANALISI DEI COSTI DI ISOLANTE per un solaio di sottotetto non praticabile								
TRASMITTANZA U desiderata		(W/m ² K) 0,43						
RESISTENZA R necessaria		R= 1/ U 2,33						
		R= somma di R ₁ +R ₂ +R ₃ +...R _n			rassegna isolanti			
		spessore s	conduttività	resistenza	<i>isolanti in alternativa</i>			
costituzione strato	cm	λ	R	sughero	lana di roccia	lana di vetro	polistirene esp. Sint.	poliuretano esp.
resistenza liminare aria interna			0,108					
intonaco interno (gesso)	1	0,29	0,034					
solaio in laterocemento	22		0,33					
soletta in cemento armato	4	1,6	0,025					
resistenza liminare aria esterna			0,108					
totale resistenza pre isolante			0,61					
resistenza mancante: 2,17-0,737			1,73					
conduttività λ del materiale				0,045	0,038	0,038	0,035	0,028
spessore necessario (s in cm)				7,74	6,54	6,54	6,02	4,82
costo materiale in opera, €/ m²				20,25	4,61	6,81	7,35	12,03
costo solo materiale €/ m²				14,60	4,20	6,30	5,82	10,50
per spess arrotondato cm				8	7	7	6	5

6.4 L'impianto

Per la parte impiantistica non c'è molto da aggiungere a quanto riportato nel capitolo sugli impianti: sono praticamente aperte tutte le opzioni; se l'isolamento sarà stato previsto in surplus rispetto al necessario, ci si potrà anche concedere una caldaia di rendimento non eccezionale; viceversa, se si adotta una caldaia ad alto rendimento, o meglio a condensazione, od anche se è disponibile il teleriscaldamento, l'isolamento può essere meno curato, per risultare in regola con la legge.

7. EDIFICI UNIFAMILIARI

In un edificio unifamiliare, di piccole dimensioni (si è preso ad esempio un semplice parallelepipedo a base quadrata, la forma più efficiente, anche se non esemplare dal punto di vista architettonico, di 10x10 m, quindi 100 m² in pianta, monopiano) ci ritrova con rapporti S/V al limite superiore della scala S/V prevista al punto 1 dell'allegato C del D.Lgs. 311/06 ovvero 0,9 (anzi, nel caso del nostro esempio, ove tale valore risulta 1,07, lo supera); il FEP ammesso sarà quindi orientato verso il massimo previsto dalla legge per la nostra zona E (da 110 a 145, a seconda del comune) ovvero nientemeno che in classe F (ammesso che la Regione non ponga ulteriori limiti).

Sarà bene ricordare che se S/V risulta >0,9, come nel nostro caso, dove risulta 1,07, si sarà "persa in partenza" la possibilità che il limite di legge "riconosca" l'aumento di dispersione implicito nella estensione della "pelle" dell'organismo edilizio e, poiché nelle case isolate e ville un andamento volumetrico "mosso" è considerato architettonicamente un pregio (una villa "a cubo" non è più di moda dai tempi del razionalismo) sarà bene che il cliente e l'architetto ne tengano conto.

Procedendo nel calcolo si vedrà che anche isolando molto sarà arduo rientrare nei limiti pur apparentemente ampi di FEP.

Costruiamo una tabella analoga alla 13, introdotta, in quel caso, per gli edifici grandi.

tabella 22: edifici unifamiliari: percentuali di incidenza delle superfici

	% su Stot	salto termico		incidenza % corretta con salto temp
1° solaio	31,3	20	625	26,67
ultimo solaio	31,3	25	781	33,33
pareti scale	0,0	20	0	0,00
pareti est.	37,5	25	938	40,00
	100,0		2.344	100,00

Si osserva che le incidenze del primo e dell'ultimo solaio diventano ben maggiori, e questo è bene perché si potranno isolare adeguatamente; ipotizziamo comunque per questi elementi, come prima, una trasmittanza pari al valore "normale" del D.Lgs. 192/05 e D.Lgs. 311/06 = 0,43.

Per le pareti esterne, molto facilmente ci troveremo in presenza di una muratura portante; fra queste dovremo sceglierne comunque una che presenti valori di isolamento notevoli. Ipotizziamo ancora il solito valore normale: 0,46.

Saremo poi facilitati dal venire meno dei ponti termici dovuti ai pilastri ed alle travi (rimangono quelli delle corree, più facili da correggere). Quanto alle finestre, dovremo considerare attentamente le loro dimensioni (nelle ville le grandi finestrate sono una tentazione), soprattutto in relazione alla esposizione; il fatto di non prevedere in genere tapparelle avvolgibili col relativo cassonetto, ma altri sistemi di oscuramento, ci eviterà l'occasione di un ponte termico considerevole.

Con questi elementi, inseriamo per la parete esterna una trasmittanza media pari a 0,93 (vedi sotto) e, inseritala nella tabella, valutiamo il risultato:

tabella 23: edifici unifamiliari: percentuali di incidenza delle diverse superfici

	% su Stot	salto termico		incidenza corretta con temp	% con salto	trasmittanza U nominale	dispersione convenzionale: c x e	incidenza %
	a	b	c	d		e		
		K	a x b					
1° solaio	31,3	20	625	26,67		0,43	269	18,3
ultimo solaio	31,3	25	781	33,33		0,43	336	22,8
pareti scale	0,0	20	0	0,00		0,8	0	0,0
paret est.	37,5	25	938	40,00		0,93	867	58,9

Il dato inserito di 0,93 come trasmittanza media del tamponamento esterno, ottenuto tabularmente dalla tabella 17 del modulo tipico di tamponamento esterno, come modificato nel caso di questo edificio, ha solo un significato indicativo, perché nell'edificio unifamiliare isolato non esiste una "specchiatura standard"; comunque il divario non è inattendibile.

Notiamo che, anche se l'importanza delle pareti esterne resta rilevante, il primo e l'ultimo solaio sono quasi equivalenti; su di essi si potrà intervenire con un isolamento maggiore per comprimere le dispersioni in modo efficiente ed economico.

7.1 La parte impiantistica

Sarà da prevedere necessariamente, per questo tipo di edificio, un impianto con caldaia autonoma. Si veda allora quanto anticipato al paragrafo "Impianti autonomi": il problema principale, come anticipato nel cap. 4 (Impianti), è che se consideriamo la potenza massima necessaria in relazione alle dispersioni, risultano necessarie caldaie con potenze irrisorie (3 - 6 kW), che non esistono in commercio, e viceversa, per assicurare la produzione di acqua calda sanitaria, si dovrà installare una caldaia "combinata" di 20-30 kW (come quelle proposte dall'industria); a meno di adottare un bollitore ad accumulo (ma di nuovo resterebbe la questione di trovare una caldaia di bassa potenza).

Con una potenza installata così sovradimensionata rispetto alle esigenze (si pensi che la caldaia da 30 kW, impiegata al regime del 30%, per il quale ancora viene indicato il rendimento, produce comunque 9 kW termici), la questione del rendimento acquista rilievo.

Sarà almeno il caso di curare tutti quegli elementi coinvolti nel rendimento e sulla base dei quali molti programmi "costruiscono" il rendimento effettivo dell'impianto, come:

- la posizione della caldaia: se è esterna (come risulta comodo per questioni di sicurezza) si perdono nell'ambiente tutte le sue dispersioni e quelle delle tubazioni da e per l'appartamento, che altrimenti resterebbero dentro l'alloggio stesso;
- il camino: se è esterno, valgono rilievi analoghi; ma ancor di più valgono scelte come quelle che coinvolgono le perdite al camino (aspirazione naturale, aspirazione forzata, preriscaldamento dell'aria comburente,...)

8. PONTI TERMICI: VALUTAZIONI E CORREZIONI

I ponti termici sono già stati introdotti al cap. 2. Vengono ripresi in una apposita sezione qui di seguito per numerosi motivi:

- sono un po' il "tallone d'Achille" del sistema costruttivo italiano corrente, soprattutto nel caso degli edifici pluripiano;
- è assai plausibile che, laddove si vadano a contabilizzare i consumi effettivi, essi saranno responsabili della gran parte della differenza fra quelli teorici e quelli effettivi;
- nella pratica costruttiva la loro importanza non è percepita; fra l'altro, volendosi avvalere del "metodo semplificato" di verifica del D.Lgs. 192/05, la considerazione dei ponti termici diventa obbligatoria ed essenziale;
- purtroppo il costo dell'intervento sui ponti termici è rilevante, anche perché nella pratica corrente le modalità non sono standardizzate ed i componenti di produzione industriale non sono "maturi": l'argomento offre spazio a possibili evoluzioni tecniche;
- il fatto che la loro contabilizzazione economica resti indefinita, porta gli organismi pubblici a sottostimare i costi globali dell'isolamento ed a falsare quindi tutte le valutazioni conseguenti;
- in vista dell'entrata in vigore di ulteriori restrizioni al consumo energetico la loro incidenza aumenterà e la loro presenza costituirà la "frontiera" energetica degli edifici come oggi concepiti;
- infine, essi costituiscono in genere cavalli di troia anche dal punto di vista acustico.
La questione dei ponti termici si presta ad essere risolta sistematicamente con prodotti innovativi che l'industria, sempre sensibile alle occasioni di mercato quanto capace di innovazione, potrebbe sviluppare se stimolata.

Si ricorda che esiste già, teoricamente, una soluzione che fa giustizia all'origine dei ponti termici: l'isolamento a cappotto; si evidenziano tuttavia alcune difficoltà che inducono ritrosie nei confronti del suo impiego generalizzato; anche la parete ventilata ha lo stesso pregio, ma anch'essa è una tipologia lungi dall'essere assimilata nella pratica corrente.

8.1 La trasmittanza lineare

Nella definizione di trasmittanza di una parete (U) si assume come ipotesi che il flusso di calore sia monodimensionale e perpendicolare alla parete stessa; quando però in una parete si introduce un elemento come un pilastro, che taglia gli strati della parte con un materiale totalmente diverso (in questo caso, molto conduttore) non è più così: il pilastro trasmette molto di più di quanto previsto in questa ipotesi, perché resta a temperatura molto più fredda degli elementi circostanti ed il freddo penetra all'interno sia attraverso la via diretta, cioè il pilastro stesso, sia attraverso quella indiretta, cioè tramite il raffreddamento degli strati vicini ad esso.

Il risultato è che un ponte termico trasmette calore non solo in proporzione alla sua superficie interna, ma in maniera considerevolmente maggiore.

Tecnicamente si tiene conto di questo fenomeno introducendo oltre (od in vece) della classica trasmittanza U (W/m^2K) una trasmittanza "lineare" simboleggiata k ($W/ml K$): le perdite dovute ai fenomeni "di contorno" saranno date cioè dal coefficiente k per lo sviluppo in metri lineari del ponte termico per il salto di temperatura.

$$W = k \times l \times K$$

Questa trasmittanza lineare sarà l'unico modo per tenere conto di quei ponti termici "di forma" nei quali non esiste una *superficie* interna (il caso dello spigolo d'angolo) o magari la superficie è molto piccola (un davanzale, che presenta all'interno solo una lama).

La definizione di questi k lineari (detti anche lineici) è relativamente complessa e delicata: il loro valore varia caso per caso, in relazione alle dimensioni assolute e relative delle pareti attraversate e del ponte termico, alla loro trasmittanza ed alla loro costituzione (posizione dell'isolante,...); per definirli in via parametrica i programmi usati dai progettisti termotecnici si avvalgono delle schematizzazioni della norma UNI EN ISO 14683 e dei suoi "coefficienti di accoppiamento termico lineico".

Va detto tuttavia che si tratta sempre di schematizzazioni, pur attendibili, e che in questa materia i progettisti termotecnici assumono atteggiamenti assai disparati; come disparate sono le realizzazioni di cantiere.

Lasciando questo tema a trattazioni specifiche ed auspicando sempre migliori affinamenti e verifiche, si intende qui essenzialmente ricordare che le dispersioni effettive dei ponti termici risultano sempre superiori, e non di poco, a quelle chiaramente visibili dal semplice confronto fra la trasmittanza del ponte termico calcolata come prima (flusso monodirezionale) e quella della parete "normale": confronto che evidenzieremo, caso per caso, nelle esemplificazioni che seguono, volte essenzialmente a costruire una sensibilità sul tema.

fig. 4 PILASTRO PASSANTE

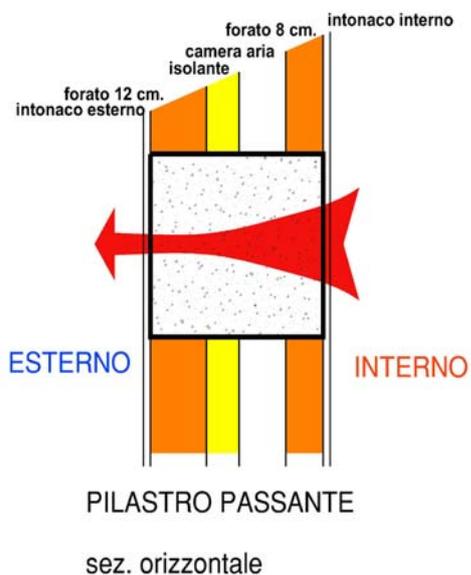


fig. 5 PILASTRO corretto est 2cm

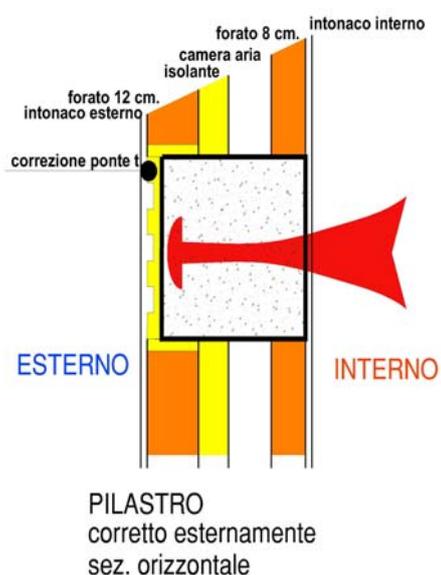


fig. 6 PILASTRO CORRETTO INT MF8 +2cm

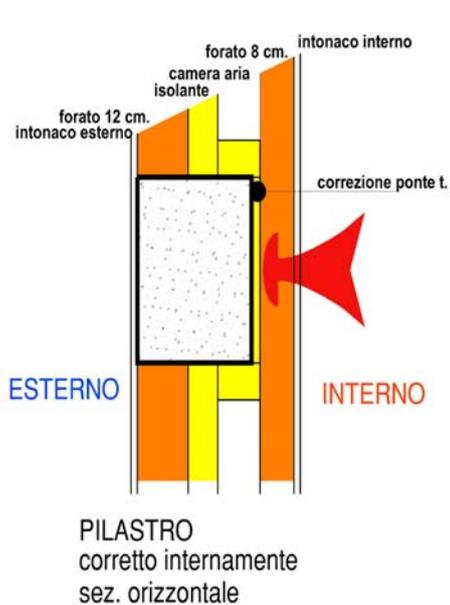
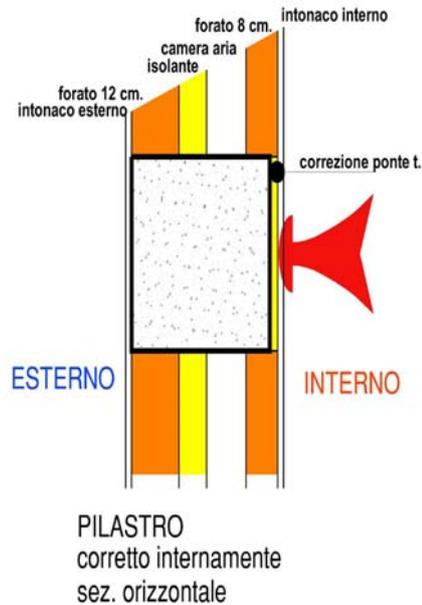


fig. 7 PILASTRO corretto internamente 2cm



IL PILASTRO IN CEMENTO ARMATO

Il pilastro in cemento armato totalmente passante, non corretto, è tipico degli edifici degli anni '60; esso garantisce la formazione di condensa sulla faccia interna.

tabella 24: ponte termico: pilastro

descrizione		fig 5	fig. 6	fig.6	fig. 6	fig. 7	fig. 8
parete normale		pilastro passante 40 cm	pilastro	pilastro	pilastro	pilastro	pilastro
correzione			esterna tavellone	esterna fibre di legno mineralizzate	esterna polistirene	forato 8 cm interno e lana vetro	pannello gesso riv. interno lana roccia
			4cm	2 cm	2 cm	2 cm	2 cm
U	0,46	2,40	1,90	1,60	1,10	0,93	1,16

Come si vede, la correzione esterna (fig. 1) ha un effetto quasi solo simbolico se effettuata con un tavellone da 4 cm (pur forato!) o con un pannello di fibromagnesite con valori pari a 3 - 4 volte quello "normale"; diventa concreta se effettuata con isolanti "veri"; ne esistono in commercio preformati appositamente "rigati" per favorire una certa consistenza e aggrappaggio dell'intonaco, che richiede comunque una rete di protezione.

Anche se effettuata all'interno con analoghi isolanti, la correzione è efficace; in fig. 8, ove è presente anche il tavolato interno in forati, è massima; in fig. 7 essa consiste di un semplice pannello di gesso rivestito, accoppiato ad un isolante. Ovviamente, se gli spessori di isolante aumentano, l'effetto è proporzionale.

fig. 8 TRAVE IN SPESSORE non corretta sezione verticale

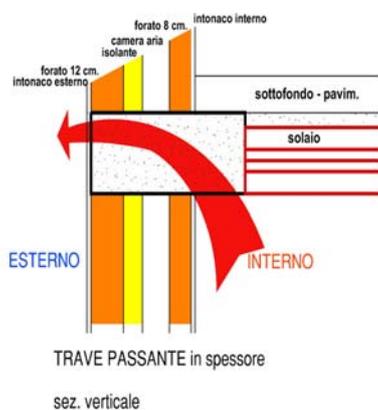


fig. 9 TRAVE IN SPESSORE corretta esternamente

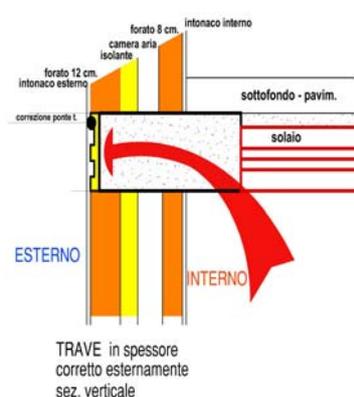


fig.10 TRAVE IN SPESSORE

correzione con cappotto esterno generale
sezione verticale

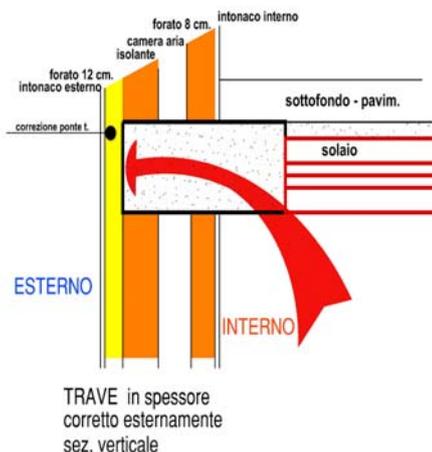
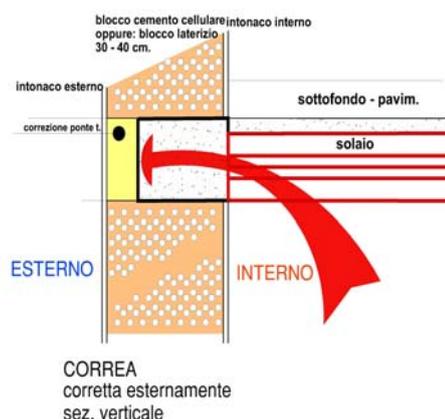


fig. 11 CORREA

correzione esterna
generica
sezione verticale



TRAVE IN SPESSORE

Una trave in spessore, senza correzione termica (fig. 8), non può che avere un effetto disastroso; la temperatura interna che ne risulta sul soffitto assicura la condensa. Per una valutazione generale della trasmittanza (sarebbe qui il caso di riferirsi alla trasmittanza lineare) ci si può riferire a quella del pilastro passante.

Qualora il ponte termico sia esternamente corretto (fig. 9) i risultati si possono valutare in prima approssimazione con analogia al caso della analoga correzione del pilastro, con le stesse indicazioni per i vari materiali da impiegare.

In fig. 10 si vede, in sezione, l'impiego di un rivestimento esterno a cappotto: come si vede, essendo l'isolamento continuo, il ponte termico è annullato. Va ricordato però che per arrivare alla trasmittanza "normale 2007" di legge ($U = 0,47$) lo spessore dell'isolante deve essere almeno dell'ordine dei 6-8 cm.

CORREA

In fig. 11 è rappresentata una correa; come si vede le ridotte esigenze statiche permettono di limitare l'ingombro si da mantenere una discreta porzione esterna, disponibile per adeguati accorgimenti di correzione con relativa facilità.

fig. 12 TRAVE RIBASSATA
non corretta

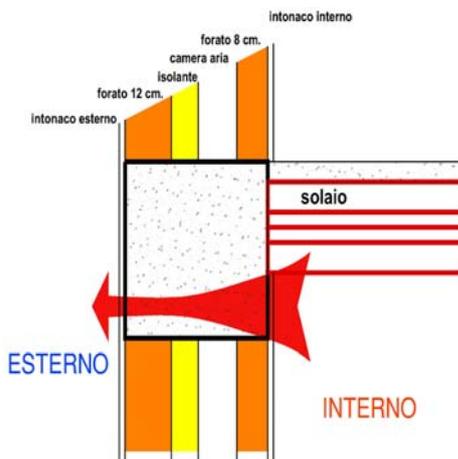


fig. 13 TRAVE RIBASSATA
corretta esternamente sez. verticale

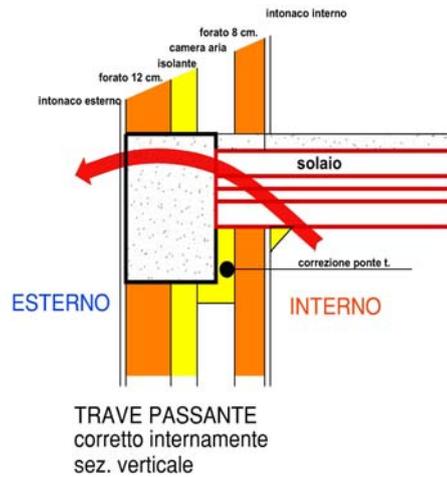


fig.14 CASSONETTO TAPPARELLE
non isolato

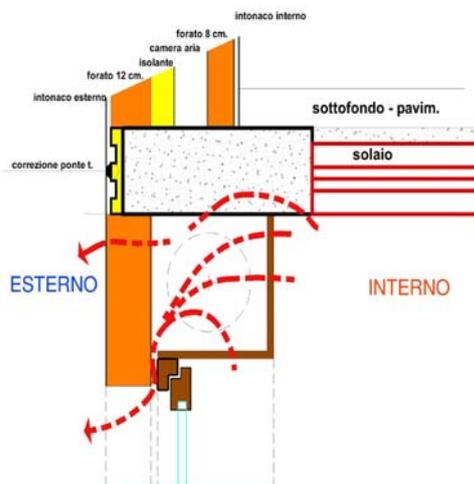
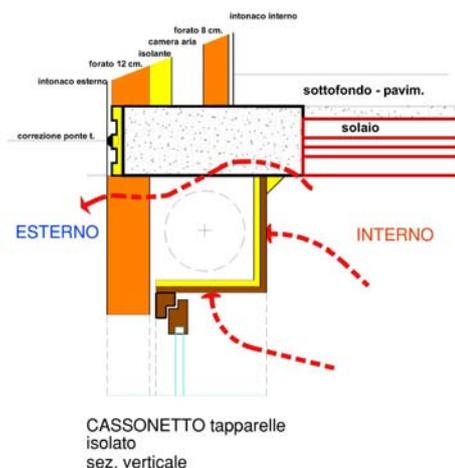


fig.15 CASSONETTO
TAPPARELLE
isolato.



TRAVE RIBASSATA

Per la trave ribassata valgono considerazioni analoghe a quelle esposte nel caso del pilastro passante nella parte del rilassamento; per la parte corrispondente al solaio si tenga presente che, isolando solo internamente, non si riesce comunque ad evitare la perdita di calore attraverso il “ponte” del solaio; il triangolino isolante che compare nell’angolo, fra la trave ribassata ed il soffitto (tipo cornice isolante), è il rimedio per scongiurare fenomeni locali di condensa.

IL CASSONETTO DELLA TAPPARELLA

Il cassonetto della tapparella è uno dei ponti termici di maggiore gravità e richiede quindi molta attenzione; per la sua valutazione, vi sono opinioni ottimistiche (per le quali l'interno del cassonetto costituisce una camera d'aria chiusa, come una intercapedine) ed altre pessimistiche, per le quali essendo l'interno del cassonetto in comunicazione continua con l'esterno (attraverso la feritoia della tapparella) e quindi praticamente a temperatura esterna, la barriera che si interpone fra esterno ed interno in corrispondenza dello stesso si riduce in pratica all'involucro del cassonetto, che correntemente è costituito da un pannello di legno o truciolare di 1-2 cm.

Si riportano nella tabella sottostante, nelle prime due colonne, i valori di trasmittanza che ne risultano (nessun isolamento, fig. 14); nelle seconde due colonne si riportano i valori di trasmittanza nel caso in cui l'interno del cassonetto sia rivestito di isolante tipo polistirene o simili (fig. 15).

tabella 25: il cassonetto: valutazione della U

descrizione	fig. 15			fig. 16			
	parete normale	cassonetto non isolato		cassonetto isolato 2 cm			
ipotesi		considerato comunicante est	non con	considerato comunicante est	con	considerato comunicante est	con
U	0,47	1,26		3		0,63	1,24
U_{media}	0,47	2,13				0,93	

Nell'ultima riga si è riportata la media dei due valori, immaginando che la realtà stia nel mezzo (con la speranza che non ci siano spifferi).

Come si vede si tratta di valori elevati: anche nel caso dell'isolamento, il valore medio è il doppio di quello normale; considerando poi che la superficie interna del cassonetto è circa doppia di quella della veletta, praticamente abbiamo un valore quattro volte maggiore: risulta cioè che il cassonetto di una finestra standard (larghezza 1,20 m) disperde come quasi due metri quadri di parete normale, anche se isolato.

fig. 16 DAVANZALE, non isolato
SOTTOFINESTRA non isolato
sez. verticale

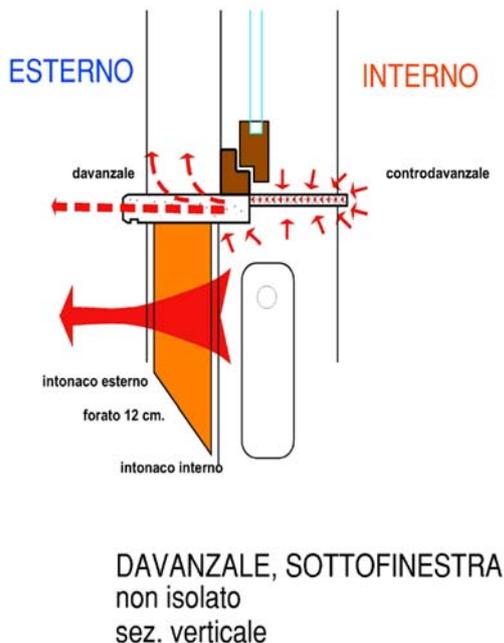
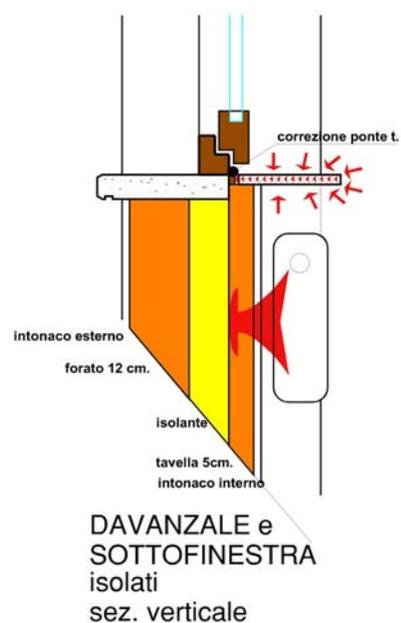


fig. 17 DAVANZALE CORRETTO
SOTTOFINESTRA ISOLATO
sez. verticale



IL DAVANZALE

Il davanzale costituisce un ponte termico quasi perfetto, ma di difficile schematizzazione. Partendo dal fatto che fra la sua faccia esterna (davanti al serramento) e quella interna ci sono solo 6-7 cm di marmo o calcestruzzo, la trasmittanza “classica” U risulta elevatissima. Poiché però la sua superficie interna è ridottissima (praticamente la “costa” interna in vista è una striscia di 2 – 3 cm di spessore) questo sarebbe tipicamente da valutare con la trasmittanza lineare k precedentemente introdotta.

In molti casi, poi, esso è in diretta comunicazione con il controdavanzale interno, in marmo, ottimo conduttore, cosicché la superficie fredda di scambio con l'interno non è più irrilevante; ed osservando che essa risulta il primo destinatario del calore del termosifone solitamente alloggiato sotto, essa diventa giusto una piastra di assorbimento del calore, da trasmettere all'esterno tramite il davanzale.

Correzione: trascurando soluzioni “nordiche” (costosi quanto poco estetici davanzali isolati, davanzali costituiti da scossaline in lamiera,...) non si può che raccomandare di rivestire la costa interna di un coprifilo il più possibile isolante; e se deve poi esserci un controdavanzale, meglio sia in legno, o comunque sia staccato dal davanzale con una interposizione isolante.

IL SOTTOFINESTRA

Per quanto riguarda il sottofinestra, che a rigore non è un ponte termico, si vuole ricordare che se ci si limita alla pratica edilizia degli anni '60 (tamponamento limitato a tavolato di mattoni pieni o forati da 12 cm) la trasmittanza risultante U risulta pari a $2,5 \text{ W/m}^2\text{K}$, cioè pari a 5 volte la nostra trasmittanza "normale", che diventa pari a 7 volte se si considera che la temperatura nel vano al quale è affacciato il sottofinestra è alquanto più alta della temperatura media interna per la immediata contiguità del termosifone; considerando l'effetto di irraggiamento del termosifone stesso, si potrebbe dire che il sottofinestra (freddo) gli sottrae letteralmente il calore: un m^2 di sottofinestra trasmetteva calore come 7 m^2 di parete normale di oggi.

Per questo motivo, l'indicazione per la costituzione del sottofinestra non può che essere che la trasmittanza risultante sia pari a quella normale, se non migliore, come appunto prescrive la norma.

fig. 18 MAZZETTA DI FINESTRA
non isolata
sez. orizzontale

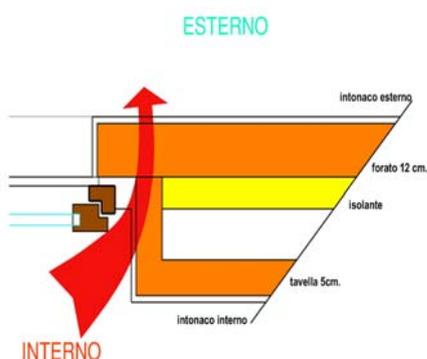
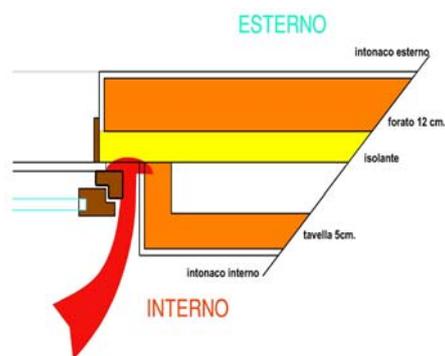


fig. 19 MAZZETTA DI FINESTRA
isolata
sez. orizzontale



Si consideri la mazzetta di serramento come realizzata nella pratica corrente: il serramento è posizionato dietro il primo tavolato, da 12 cm.

Continuando a valutare con il metro della trasmittanza superficiale teorica U , risulta che la barriera fra esterno ed interno, costituita da un tavolato da 12 cm più 6 cm di legno (il serramento), ovvero, di lato, dal tavolato da 12 più 5-6 cm di riempimento di malta, presenta una trasmittanza fra 1,4 e $2,2 \text{ W/m}^2\text{K}$; si sottolinea però che qui siamo specificamente nel campo dei ponti termici da calcolare con la trasmittanza lineica k (la mazzetta prende freddo da due lati) e che quindi l'effetto

è comunque decisamente peggiore (ricordiamoci quante volte si vedono mazzette annerite per condensa).

Si comprende quindi che, se dobbiamo limitare le dispersioni al minimo, occorre ricercare soluzioni diverse.

Le indicazioni della fig. 15, che mostra il serramento posizionato dietro il rivestimento isolante del tavolato esterno ne è un esempio; in questo modo il ponte termico è praticamente annullato.

Chi abbia pratica costruttiva esporrà subito la riserva che la protezione esterna dell'isolante stesso ed il fissaggio del serramento restano elementi critici.

D'altro canto, in paesi da più tempo sensibili al tema energetico, si sono ormai assimilate soluzioni analoghe nella pratica costruttiva.

Si ripropone quindi l'auspicio che venga avviata anche da noi una evoluzione generalizzata in tal senso dei metodi costruttivi.