

Alessandro Tenga

# INVOLUCRO EDILIZIO ED IMPIANTI

**INTERVENTI PER IL MIGLIORAMENTO ENERGETICO DEGLI EDIFICI  
E LA CERTIFICAZIONE ENERGETICA**



## **SOFTWARE INCLUSO**

PROGETTO DI UN EDIFICIO CONFORME ALLE DIRETTIVE CASA CLIMA

**Glossario** (principali termini tecnico-normativi), **F.A.Q.** (domande e risposte sui principali argomenti),  
**Test iniziale** (verifica della formazione di base), **Test finale** (verifica dei concetti analizzati)



  
**GRAFILL**

Alessandro Tenga

**INVOLUCRO EDILIZIO ED IMPIANTI**

ISBN 13 978-88-8207-514-9

EAN 9 788882 075149

Manuali, 137

Prima edizione, febbraio 2014

© **GRAFILL S.r.l.**

Via Principe di Palagonia, 87/91 – 90145 Palermo

Telefono 091/6823069 – Fa · 091/6823313

Internet <http://www.grafill.it> – E-Mail [grafill@grafill.it](mailto:grafill@grafill.it)

Tutti i diritti di traduzione, di memorizzazione elettronica e di riproduzione sono riservati. Nessuna parte di questa pubblicazione può essere riprodotta in alcuna forma, compresi i microfilm e le copie fotostatiche, né memorizzata tramite alcun mezzo, senza il permesso scritto dell'Editore. Ogni riproduzione non autorizzata sarà perseguita a norma di legge. Nomi e marchi citati sono generalmente depositati o registrati dalle rispettive case produttrici.

## SOMMARIO

<b>PRESENTAZIONE</b> .....	p.	1
La situazione attuale .....	"	1
Il bilancio energetico di un edificio in sintesi .....	"	2
<b>1. COMPONENTI OPACHI INVOLUCRO EDILIZIO</b> .....	"	5
1.1. Le strutture opache.....	"	5
1.2. La trasmittanza delle strutture opache .....	"	5
1.3. Le intercapedini di aria .....	"	7
1.4. Le caratteristiche dei materiali utili al calcolo delle trasmittanze .....	"	9
1.5. I ponti termici-ponti termici corretti .....	"	10
1.6. Gli isolanti termici.....	"	17
1.7. Esempi di calcolo di trasmittanze .....	"	21
1.7.1. Esempio di calcolo per una copertura.....	"	21
1.7.2. Esempio di calcolo per un pavimento contro terra .....	"	21
1.7.3. Esempio di calcolo per un tamponamento esterno in laterizio .....	"	23
1.8. La condensa e le strutture edilizie.....	"	24
1.8.1. Condensa superficiale .....	"	25
1.8.2. Condensa interstiziale .....	"	28
1.9. La tenuta all'aria delle strutture edilizie: la ventilazione.....	"	33
1.10. Cenni sul comportamento dinamico dei componenti opachi: comportamento estivo.....	"	35
1.11. La costante di tempo e la capacità interna .....	"	39
1.12. La radiazione solare.....	"	40
1.13. Il colore dei componenti opachi.....	"	43
1.14. Valutazione dei dati di trasmittanza involucro per edifici esistenti .....	"	43
1.15. La termografia ad infrarossi.....	"	45
1.16. Valutazione del risparmio energetico di una riqualificazione di involucro .....	"	46
<b>2. COMPONENTI TRASPARENTI INVOLUCRO EDILIZIO</b> .....	"	48
2.1. Premessa .....	"	48
2.2. La trasmittanza degli infissi .....	"	48
2.3. Effetti dovuti agli elementi oscuranti.....	"	53
2.4. Vetri basso emissivi .....	"	53
2.5. Prestazioni energetiche estive-vetri .....	"	55
2.6. Tendaggi schermi solari mobili-fattori di ombreggiamento .....	"	58

2.7.	Vetratae attive alimentate elettricamente.....	p.	59
2.8.	Ulteriori indici prestazionali degli infissi.....	"	60
<b>3.</b>	<b>GLI IMPIANTI TERMICI</b> .....	"	61
3.1.	Le tipologie di impianti negli edifici.....	"	61
3.2.	Dimensionamento degli impianti.....	"	61
3.3.	I principali sistemi di generazione .....	"	63
3.3.1.	Le caldaie-generatori di calore.....	"	63
3.3.2.	La pompa di calore.....	"	70
3.3.3.	Pompe di calore geotermiche.....	"	73
3.3.4.	La cogenerazione, microcogenerazione, il teleriscaldamento .....	"	79
3.3.5.	La trigenerazione e le macchine ad assorbimento, solar cooling.....	"	84
3.3.6.	Vasi di espansione, sicurezze, autorizzazione emissione atmosfera.....	"	86
3.4.	Il sistema di distribuzione .....	"	89
3.4.1.	La coibentazione delle tubazioni.....	"	90
3.4.2.	Il dimensionamento delle tubazioni .....	"	93
3.4.3.	Le pompe di circolazione.....	"	101
3.4.4.	Le tipologie di circuiti di distribuzioni .....	"	104
3.4.5.	Collettori .....	"	106
3.4.6.	Scambiatori di calore a piastre .....	"	107
3.5.	Il sistemi di regolazione.....	"	108
3.5.1.	Regolazione di caldaia .....	"	108
3.5.2.	Regolazione climatica .....	"	108
3.5.3.	Regolazione di zona .....	"	109
3.5.4.	Regolazione per singolo ambiente .....	"	110
3.5.5.	Cenni sul sistema di regolazione e i suoi componenti .....	"	110
3.6.	Contabilizzazione del calore supervisione: cenni .....	"	111
3.7.	I sistemi di emissione.....	"	113
3.7.1.	Radiatori.....	"	114
3.7.2.	Ventilconvettori e aereotermi.....	"	117
3.7.3.	Terminalia d induzione.....	"	118
3.7.4.	Pannelli radianti .....	"	119
3.7.5.	Utenze con temperature del fluido diversificate: impianti innovativi .....	"	128
3.7.6.	Acqua calda sanitaria: accumulo.....	"	131
<b>4.</b>	<b>CENNI SUGLI IMPIANTI DI CLIMATIZZAZIONE</b> .....	"	133
4.1.	Generalità.....	"	133
4.2.	I carichi termici estivi .....	"	134
4.3.	L'aria e i diagrammi psicometrici .....	"	136
4.4.	Tipiche condizioni climatiche invernali ed estive .....	"	137

4.5.	Impianti a tutta aria e sola aria.....	p.	137
4.6.	Impianti misti .....	"	145
4.7.	Ulteriori classificazione impianti.....	"	146
4.8.	Le batterie delle UTA.....	"	148
4.9.	La filtrazione e l'aria esterna di rinnovo.....	"	148
4.10.	La centrale frigo.....	"	149
4.11.	Torri evaporative.....	"	150
4.12.	Sezione di umidificazione.....	"	152
4.13.	Recuperatori di calore.....	"	152
4.14.	La rete aeraulica.....	"	153
4.15.	Cenni le bocchette di ripresa e i diffusori.....	"	160
4.16.	Impianti ad espansione diretta multisplit – VRV.....	"	163
<b>5.</b>	<b>CENNI SUL RISPARMIO</b>		
	<b>DI ENERGIA ELETTRICA NEGLI EDIFICI.....</b>	"	164
5.1.	Forza motrice.....	"	164
5.2.	Illuminazione naturale.....	"	165
5.3.	Illuminazione artificiale: lampade a basso consumo.....	"	167
<b>6.</b>	<b>LE NORME UNI TS 11300 .....</b>	"	173
6.1.	Generalità.....	"	173
6.2.	In sintesi il metodo di calcolo del fabbisogno e delle perdite di impianto a mezzo delle UNI TS 11300-1 e UNI TS 11300-2.....	"	174
6.3.	L'energia primaria.....	"	178
6.4.	Emissioni di CO <sub>2</sub> .....	"	180
6.5.	Il fabbisogno energetico invernale.....	"	180
6.6.	Lo scambio termico per trasmissione.....	"	181
6.7.	Lo scambio termico diretto verso l'ambiente esterno.....	"	181
6.8.	Lo scambio termico verso il terreno.....	"	182
6.9.	Lo scambio termico per trasmissione verso ambienti non climatizzati.....	"	183
6.10.	Lo scambio termico verso ambienti a differente temperatura.....	"	184
6.11.	Extra flusso verso la volta celeste.....	"	184
6.12.	Scambio termico per ventilazione.....	"	185
6.13.	Apporti interni, apporti solari e fattore di utilizzazione degli stessi.....	"	186
6.14.	Il fabbisogno energetico estivo.....	"	191
	6.14.1. fabbisogno di energia primaria per la produzione di ACS.....	"	191
6.15.	Il rendimenti dei sottosistemi impiantistici.....	"	193
	6.15.1. Rendimento globale medio stagionale impianto termico.....	"	193
6.16.	Il rendimento medio di emissione.....	"	195
6.17.	Il rendimento medio di regolazione.....	"	196
6.18.	Il rendimento medio di distribuzione.....	"	198
6.19.	Il rendimento medio di produzione.....	"	199
6.20.	Il rendimento globale medio stagionale dell'impianto di produzione acqua calda.....	"	201

6.20.1.	Il rendimenti di impianto in sintesi .....	p.	201
6.21.	Brevi cenni sulla Parte 3 e 4 delle UNI TS 11300 .....	"	203
<b>7.</b>	<b>QUADRO NORMATIVO E VERIFICHE DI LEGGE</b> .....	"	206
7.1.	Premessa .....	"	206
7.2.	Dati di calcolo e parametri delle verifiche .....	"	211
7.2.1.	Definizione di grado giorno e zone climatiche .....	"	211
7.2.2.	Durata del periodo di riscaldamento .....	"	211
7.2.3.	Zona termica .....	"	212
7.2.4.	Superficie disperdente .....	"	212
7.2.5.	Volume Lordo climatizzato .....	"	212
7.2.6.	Superficie netta e volume netto .....	"	213
7.2.7.	Rapporto S/V .....	"	213
7.2.8.	Classificazione degli edifici .....	"	213
7.2.9.	L'indice di Prestazione energetica invernale $EP_i$ .....	"	214
7.2.10.	Indice di prestazione energetica limite $EP_{i,lim}$ .....	"	214
7.2.11.	Indice di prestazione energetica globale .....	"	215
7.2.12.	Classificazione energetica di un edificio .....	"	216
7.2.13.	L'indice di Prestazione energetica estiva $EP_{e,inv}$ .....	"	217
7.2.14.	Valori limite delle trasmittanze .....	"	217
7.2.15.	Sistemi di calcolo: metodologie di calcolo .....	"	218
7.3.	Verifiche di legge .....	"	219
7.3.1.	Esclusione dalle verifiche di legge .....	"	219
7.3.2.	Le verifiche di legge: sintesi non esaustiva .....	"	220
7.3.3.	La figura del certificatore energetico .....	"	226
7.3.4.	Il D.Lgs. n. 28/2011 e le rinnovabili .....	"	227
7.3.5.	Conto Termico (D.M. 28 dicembre 2012) .....	"	228
7.3.6.	Il D.L. n. 63/2013 .....	"	229
<b>8.</b>	<b>CENNI SU INCENTIVI E DETRAZIONI FISCALI</b> .....	"	231
8.1.	Quadro normativo .....	"	231
8.2.	Caratteristiche dell'edificio .....	"	233
8.3.	Soggetti che possono fruire delle detrazioni .....	"	233
8.4.	Iter burocratico procedurale .....	"	233
8.5.	Interventi di riqualificazione globale su edifici esistenti .....	"	234
8.6.	Interventi sull'involucro edilizio .....	"	235
8.7.	Interventi di Installazione di pannelli solari per la produzione di acqua calda .....	"	237
8.8.	Interventi per la sostituzione parziale o integrale di impianti di climatizzazione invernale .....	"	237
8.9.	Detrazione al 65% .....	"	238
<b>9.</b>	<b>CENNI SULLE RINNOVABILI E TITOLI ENERGETICI</b> .....	"	239
9.1.	Premesse .....	"	239

9.2.	Incentivi –titoli energetici .....	p.	239
9.2.1.	I certificati verdi .....	"	239
9.2.2.	Certificati bianchi .....	"	240
9.2.3.	Scambio sul posto .....	"	241
9.2.4.	Tariffa omnicomprensiva .....	"	241
9.2.5.	Ritiro dedicato .....	"	242
9.2.6.	Cenni sul Conto Energia: Quinto Conto Energia .....	"	242
9.3.	Cenni conto termico .....	"	245
9.4.	Tecnologie rinnovabili legate all'edilizia .....	"	247
9.4.1.	Solare termico e fotovoltaico .....	"	247
<b>10.</b>	<b>CONSIDERAZIONI TECNICO-ECONOMICHE .....</b>	"	<b>257</b>
10.1.	Premessa .....	"	257
10.1.	Interesse semplice .....	"	257
10.3.	Interesse composto .....	"	258
10.4.	Fattore di sconto .....	"	258
10.5.	Provenienza dei capitali .....	"	259
10.6.	Investimento iniziale .....	"	259
10.7.	Flusso di cassa .....	"	259
10.8.	Durata dell'investimento .....	"	260
10.9.	Il tempo di ritorno semplice o pay back time .....	"	260
10.10.	Il VAN valore attuale netto .....	"	260
10.11.	Sostenibilità economica di un investimento energetico .....	"	261
<b>11.</b>	<b>ESEMPIO DI CALCOLO</b>		
	<b>DI FABBISOGNO ENERGETICO UNI 11300-1-2 .....</b>	"	<b>262</b>
11.1.	Dati geometrici .....	"	262
11.2.	Trasmittanze strutture opache calcolo .....	"	266
11.3.	Trasmittanze strutture trasparenti-portoncino di ingresso .....	"	267
11.4.	Isolamento notturno scuri .....	"	269
11.5.	Il coefficiente di scambio termico diretto .....	"	269
11.5.1.	Coefficiente di scambio termico verso ambienti non riscaldati .....	"	270
11.5.2.	Coefficiente di scambio termico globale .....	"	270
11.5.3.	Extra flusso verso la volta celeste .....	"	271
11.5.4.	Dispersione energetica per trasmissione .....	"	272
11.5.5.	Energia dispersa per ventilazione .....	"	273
11.5.6.	Energia apporti interni .....	"	274
11.5.7.	Energia apporti solari finestre .....	"	275
11.5.8.	Apporti solari attraverso i componenti vetrati .....	"	277
11.5.9.	Fattore di utilizzazione apporti termicie e fabbisogno .....	"	279
11.5.10.	Rendimento di produzione .....	"	280
11.5.11.	Rendimento di distribuzione .....	"	281
11.5.12.	Rendimento di emissione .....	"	281

---

11.5.13. Rendimento di regolazione .....	p.	281
11.5.14. Rendimento medio globale stagionale .....	"	281
11.5.15. Energia primaria per il riscaldamento .....	"	281
<b>12. INSTALLAZIONE DEL SOFTWARE ALLEGATO .....</b>	"	283
12.1. Introduzione .....	"	283
12.2. Requisiti minimi hardware e software .....	"	283
12.3. Download del software e richiesta della password di attivazione .....	"	283
12.4. Installazione e attivazione del software .....	"	284
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	"	286



## PRESENTAZIONE

### » *La situazione attuale*

Sulla base del primo *Energy Efficiency Report*, elaborato dal Politecnico di Milano nel 2011, il comparto edilizio è responsabile ogni anno di oltre il 35% dei consumi energetici in Italia. Il più rilevante è quello legato al riscaldamento.

In netto aumento è stato nell'ultimo decennio il consumo di energia elettrica e questo a causa di un uso più diffuso degli elettrodomestici e della climatizzazione estiva (in flessione negli ultimi anni causa la crisi economica).

Il decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192 e ss.mm.ii., che ha recepito in Italia la direttiva europea 2002/91/CE e più in generale la prassi relativa alla certificazione energetica degli edifici, vuole incentivare la costruzione di edifici a basso fabbisogno energetico ed il risanamento del parco immobili esistenti. Vengono infatti introdotti gli indici di prestazione energetica quali rapporti tra i fabbisogni di energia primaria, necessari all'esercizio dell'immobile per un intero anno, e la superficie (il volume per gli immobili ad uso non abitativo).

Il calcolo dell'energia primaria viene effettuato in condizioni di utilizzo dell'edificio standard e su dati climatici mediati su base mensile. Sebbene tali indici non siano correlabili agli effettivi consumi (quelli deducibili dalle bollette), permettono di confrontare tra loro differenti edifici e di valorizzare sul mercato immobiliare gli edifici più performanti dal punto di vista del risparmio energetico. In tal senso la certificazione energetica contribuisce a ottimizzare l'uso dell'energia in edilizia come del resto ha fatto tutta la normativa emanata negli ultimi decenni. Il risultato ottenuto è stato sensibile. Infatti se si confronta il parco edifici esistenti sulla base dell'indice prestazionale  $EP_i$  per la climatizzazione invernale (la voce più incidente), si scopre come esso sia migliorato nel tempo.

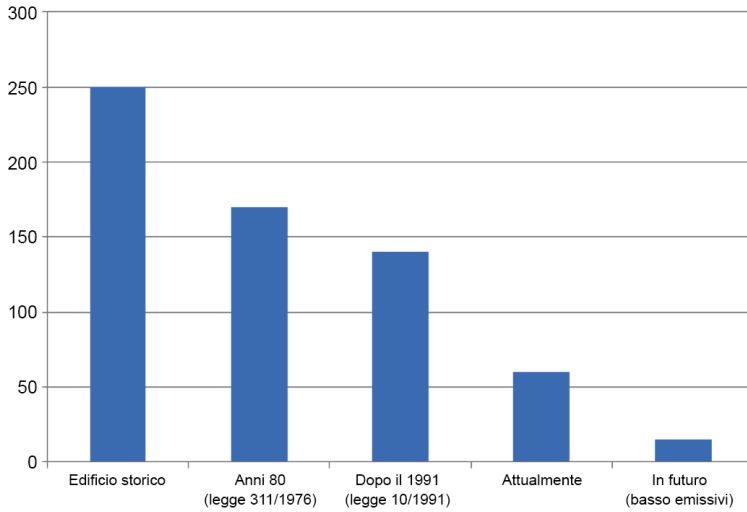
In definitiva l'evoluzione normativa ha imposto il rispetto di parametri costruttivi degli edifici adeguati allo sviluppo delle tecnologie e delle conoscenze in tema di risparmio energetico. Tale processo è stato accelerato dai costi sempre maggiori delle fonti energetiche e dalla sempre maggiore consapevolezza che è necessario un maggior rispetto dell'ambiente.

Appare chiaro che la grande scommessa per il futuro sarà il risanamento dell'esistente.

I nuovi edifici dovranno necessariamente rispettare parametri prestazionali di elevata qualità. Pertanto è sull'esistente che occorre operare per imporre tecniche di ristrutturazione non dispendiose e di facile attuazione. Sarebbe inoltre auspicabile che i dati di prestazione energetica dell'immobile fossero inseriti tra i dati catastali.

L'associazione dei dati catastali con quelli energetici, unita al divieto di commercializzazione degli immobili al di sotto di una certa classe energetica, potrebbe fornire una spinta decisiva ed incentivare un uso più razionale dell'energia in edilizia.

Le normative potranno incentivare un cambiamento che potrà avvenire solo con un diverso atteggiamento culturale.



La crescita demografica imponente (ad inizio del secolo la popolazione mondiale si stimava in circa un miliardo e mezzo di persone, agli inizi del 2000 era di circa 6 miliardi e si prevede che sarà di 9 miliardi nel 2040) pone dei seri problemi sulla sostenibilità dell'uso energetico fino ad ora effettuato. Non è pensabile che la maggior parte della popolazione del mondo continui a vivere senza risorse. La preoccupante richiesta energetica delle popolazioni in rapido sviluppo (Cina-India) pone seri problemi. Il secondo principio della termodinamica pone dei limiti agli usi e alle trasformazioni energetiche ed anche l'uso delle risorse rinnovabili non deve superare il loro tasso di rigenerazione.

Occorre ricercare delle soluzioni per il benessere dei fruitori attuali garantendo contemporaneamente alle generazioni future la possibilità di conseguire lo stesso risultato. La consapevolezza che le risorse sono limitate e che il loro sperpero e l'inquinamento possono diventare insostenibili per le popolazioni future deve essere chiara. Occorre ed occorrerà sempre di più variare le nostre abitudini.

Spesso la soluzione è un mix tra nuove tecnologie, e tradizione. Occorre riscoprire stili di vita antichi e più vicini alla natura ed ugualmente ricorrere a pratiche ed abitudini costruttive di epoche lontane che l'edilizia dei tempi moderni, dei tempi in cui si pensava di poter attingere in modo illimitato alle risorse energetiche, ha fatto dimenticare.

### ► **Il bilancio energetico di un edificio in sintesi**

Il bilancio energetico di un edificio è concettualmente abbastanza semplice.

L'edificio ha delle perdite energetiche e dei guadagni.

Le perdite sono le perdite per trasmissione attraverso l'involucro (componenti opachi e trasparenti) e le perdite per ventilazione, dovute alle entrate di aria esterna che dovrà essere riscaldata e/o raffreddata. I guadagni sono i guadagni dovuti all'irraggiamento solare ed ai contributi gratuiti dovuti alle apparecchiature che emettono calore, all'illuminazione, alla presenza di persone, ai fornelli delle cucine, ecc.. In estate i contributi gratuiti diventano carichi termici da neutralizzare con gli impianti di climatizzazione.

I guadagni non possono essere sfruttati completamente ma vengono pesati secondo un fattore di utilizzazione  $\mu$  con  $0 \leq \mu \leq 1$ .

Pertanto si avrà:

$$Q_{hn} = Q_t + Q_v - \mu \cdot (Q_s + Q_i)$$

In pratica  $Q_{hn}$ , l'energia netta che l'impianto deve fornire per mantenere una prefissata temperatura ambiente interna, è data dalle perdite per trasmissione ( $Q_t$ ) e ventilazione ( $Q_v$ ) a cui sono sottratti i guadagni solari ( $Q_s$ ) e gli apporti gratuiti interni ( $Q_i$ ) pesati secondo il fattore di utilizzazione  $\mu$ .

In verità la suddetta formula non tiene conto che gli impianti per fornire una energia  $Q_{hn}$  debbono consumare una energia maggiore che tenga conto delle perdite degli impianti stessi.

Le perdite degli impianti sono valutate sulla base del rendimento medio globale stagionale  $\eta_g$  con  $0 < \eta_g < 1$ .

Più il rendimento è alto, minori sono le perdite dovute agli impianti.

Pertanto la reale necessità di energia da fornire all'impianto è data da:

$$Q_h = \frac{Q_{h,n}}{\eta_g}$$

L'energia è, come è noto, il prodotto di una potenza per un tempo. Pertanto nessun calcolo del tipo sopra illustrato ha senso senza una base temporale. Nei calcoli energetici la base temporale è normalmente l'anno. Ugualmente occorre definire la variabilità temporale dei fattori che entrano in gioco. Ad esempio le perdite per trasmissione dipenderanno, oltre che dalle qualità isolanti dell'involucro, anche dalle temperature esterne. Tali temperature sono normalmente mediate su base mensile.

Il fabbisogno energetico dipenderà da come si utilizza l'edificio, dal numero di ricambi orari di aria che verranno effettuati aprendo gli infissi, dalla temperatura interna che si vorrà mantenere, da come si farà uso degli oscuranti o dei tendaggi. Le attività interne all'edificio potranno richiedere una maggior ventilazione e pertanto maggiori perdite (attività inquinanti, alto affollamento). Al contrario le attività interne potranno produrre apporti gratuiti (si pensi a talune attività produttive: cucine; lavorazioni a caldo, ecc.) e determinare un risparmio di energia.

Nelle medesime località climatiche alcuni edifici potranno, sebbene costruiti in modo identico, essere favoriti da orientamenti migliori per l'irraggiamento solare e le dispersioni, oppure essere adiacenti ad altri edifici riscaldati e quindi avere un fattore di forma (S/V) migliore e cioè, a parità di volume, essere dotati di minore superficie disperdente.

L'energia necessaria potrà essere fornita da fonti rinnovabili, utilizzando impianti ad alta efficienza oppure obsoleti e dal rendimento insufficiente.



## COMPONENTI OPACHI INVOLUCRO EDILIZIO

### › 1.1. *Le strutture opache*

Per strutture opache si intendono i tamponamenti, i solai ed in definitiva tutti i componenti di confine verso l'esterno dell'edificio che si distinguono dalle vetrate e dagli infissi e cioè dai componenti trasparenti.

### › 1.2. *La trasmittanza delle strutture opache*

La trasmissione del calore attraverso un corpo avviene quando esso è sottoposto ad una differenza di temperatura. L'energia si trasferisce dalla zona a temperatura maggiore a quella a temperatura minore.

La schematizzazione che si applica alla trasmissione di calore si basa su tre meccanismi fondamentali:

- 1) *Conduzione*: la *conduzione* avviene quando vi è contatto diretto tra i corpi a differente temperatura. Avviene per conduzione il passaggio di calore tra i vari strati di materiale che compongono una parete.
- 2) *Convezione*: la *convezione* avviene quando vi è il movimento delle molecole di un liquido o di un gas che lambiscono un corpo o un altro liquido o gas a temperatura differente.
- 3) *Irraggiamento*: l'*irraggiamento* avviene attraverso la propagazione di onde elettromagnetiche tra un corpo caldo ed uno freddo. Per corpi ad alta temperatura è la tipologia prevalente di scambio, essendo l'energia per irraggiamento proporzionale alla quarta potenza della temperatura. È il tipo di scambio che avviene tra il sole e la terra e può aver luogo anche se tra i due corpi a differente temperatura vi è il vuoto.

L'analisi rigorosa dei flussi energetici in un edificio è complessa. Per rendere più agevole lo sviluppo dei calcoli si ipotizzano le seguenti condizioni:

- regime stazionario (flusso di calore costante nel tempo);
- parete piana di estensione infinita;
- materiale componente perfettamente omogeneo ed isotropo;
- facce esterne del componente opaco considerate come superfici isoterme.

Si precisa che le suddette semplificazioni sono accettabili per il calcolo invernale ma diventano poco significative per quello estivo.

La trasmittanza  $U$  si definisce come il flusso di calore che attraversa una superficie unitaria sottoposta a differenza di temperatura pari ad 1 °C. Essa è legata alle caratteristiche del materiale che costituisce la struttura e si assume pari all'inverso della sommatoria delle resistenze termiche degli strati.

Resistenza termica di uno strato omogeneo

$$R = \frac{S}{\lambda} \quad [\text{m}^2\text{K/W}]$$

Resistenza termica di un elemento edilizio composto da più strati

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots R_n + R_{se}$$

Trasmittanza

$$U = \frac{1}{R_T} \quad [\text{m}^2\text{K/W}]$$

$R_{si}$  ed  $R_{se}$  sono dette resistenze liminari di scambio termico ed il loro valore dipende da come è disposto il componente opaco rispetto al flusso termico ed in definitiva dagli scambi termici che avvengono per convezione e irraggiamento tra l'aria e il componente e tra il componente e l'aria. Il fattore che tiene conto di entrambi gli scambi per convezione e per irraggiamento si chiama coefficiente di adduzione (UNI EN ISO 6946). Il suo inverso è la resistenza liminare.

Di seguito le resistenze liminari per flussi orizzontali (per esempio pareti verticali), flussi verso l'alto (per esempio solai di copertura) o flussi verso il basso (per esempio solai di calpestio verso ambienti non riscaldati).

Surface resistance $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$	Direzione del flusso termico		
	Verso l'alto	Orizzontale	Verso il basso
$R_{si}$	0,10	0,13	0,17
$R_{se}$	0,04	0,04	0,04

Tabella 1.1. Conventional Surface Resistances

In figura 1.1 alcuni esempi di flussi e di resistenze liminari (il seminterrato è da considerarsi non riscaldato). La freccia indica il verso del flusso di calore (ascendente-orizzontale-verticale). Per i tetti fino ad inclinazione di  $30^\circ$  della falda il flusso si considera orizzontale, oltre verticale.

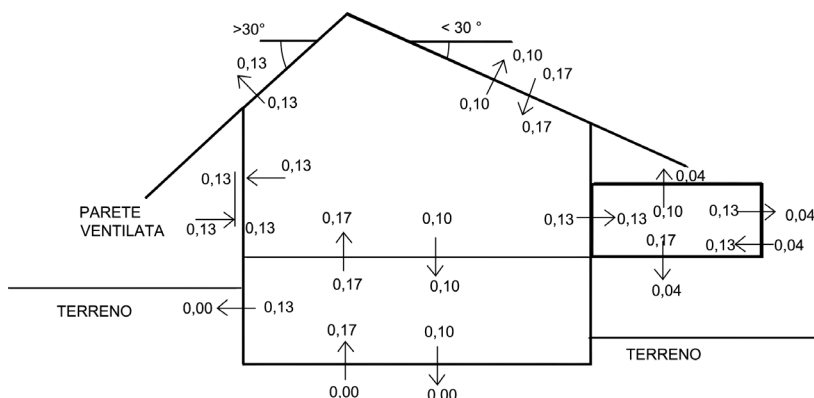


Figura 1.1. Esempi di flussi e di resistenze liminari

Scambio con	$R_{si}$	$R_{se}$
Solaio esterno verso alto non ventilato	0,10	0,04
Solaio esterno verso alto ventilato	0,10	0,10
Solaio esterno verso il basso non ventilato	0,17	0,04
Solaio esterno verso alto ventilato	0,10	0,10
Muro esterno non ventilato	0,13	0,04
Muro esterno ventilato	0,13	0,13
Solaio verso sottotetto non riscaldato	0,10	0,10
Muro verso sottotetto non riscaldato	0,13	0,13
Muro verso garage sotterraneo	0,13	0,13
Solaio verso garage sotterraneo	0,17	0,17
Muro verso serra	0,13	0,13
Muro controterra	0,13	0,00
Pavimento controterra	0,17	0,00
Solaio su vespaio areato	0,17	0,04

### 1.3. Le intercapedini di aria

La resistenza di una intercapedine di aria cresce con lo spessore fino ad un certo valore poi resta costante. Il discriminante è invece se l'aria è ferma o in movimento. Infatti è il movimento dell'aria che crea scambio termico per convezione.

Se l'intercapedine presenta aperture minori di 500 mm<sup>2</sup> per metro di lunghezza dell'intercapedine, essa si dice **non ventilata**. Per tali intercapedini i valori delle resistenze sono tabellati dalle UNI EN ISO 6946.

Spessore intercapedine [mm]	Flusso ascendente	Flusso orizzontale	Flusso discendente
0	0	0	0
5	0,11	0,11	0,11
7	0,13	0,13	0,13
10	0,15	0,15	0,15
15	0,16	0,17	0,17
25	0,16	0,18	0,19
50	0,16	0,18	0,21
100	0,16	0,18	0,22
300	0,16	0,18	0,23

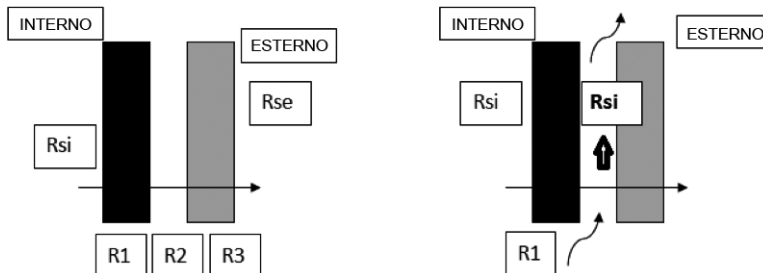
Come si nota all'aumentare dello spessore e diversamente per flussi ascendenti, orizzontali o discendenti, il valore della resistenza cresce per poi fermarsi a un valore massimo che non aumenta anche all'aumentare dello spessore (0,16 m<sup>2</sup>/kW per flusso discendente, 0,18 m<sup>2</sup>/kW per flusso orizzontale e 0,23 m<sup>2</sup>/kW per flussi discendenti).

Per valori di aperture compresi tra 500 mm<sup>2</sup> e 1.500 mm<sup>2</sup> l'intercapedine si dice **debolmente ventilata** e la resistenza termica da considerare è pari al valore dimezzato delle resistenze delle intercapedini non ventilate (valori dimezzati della tabella di cui sopra).

Per esempio una intercapedine debolmente ventilata da 50 mm se attraversata da un flusso ascendente presenterà una resistenza termica di  $0,8 \text{ m}^2/\text{kW}$  (la metà di una in cui l'aria è ferma). Nei casi in cui si abbia una superficie di aperture verso l'esterno maggiore di  $1.500 \text{ mm}^2$  si dirà che l'intercapedine è **ventilata**. In tale caso nel calcolo della resistenza termica della struttura si prenderanno in considerazione solo gli strati (partendo dall'interno) precedenti all'intercapedine. Tutti gli strati tra l'intercapedine ventilata e l'esterno non vengono considerati. La resistenza termica superficiale (scambio convettivo aria struttura) dell'intercapedine fortemente ventilata viene equiparata alla resistenza termica interna ( $R_{si} = R_{se}$ ).

Intercapedini di aria ventilate vengono utilizzate per realizzare facciate ventilate. Con tali strutture si hanno i seguenti vantaggi:

- 1) lo strato termoisolante, che normalmente è posato prima dell'intercapedine dalla parte dell'ambiente interno, è protetto dall'umidità proveniente dall'esterno;
- 2) il movimento dell'aria nell'intercapedine contribuisce ad asciugare eventuali infiltrazioni d'acqua e ad allontanare il calore accumulato per irraggiamento solare nello strato di rivestimento;
- 3) le prestazioni invernali migliorano poiché diminuiscono gli scambi convettivi e per irraggiamento rispetto ad un contatto con aria esterna (si utilizza  $R_{si} = R_{se} = 0,13$  invece che  $0,04$ ).



Consideriamo di voler calcolare le resistenze delle strutture di figura composte da tre strati R1, R2, R3 nel caso in cui R2 sia una intercapedine di aria ferma (non ventilata) oppure di aria ventilata. Indichiamo la resistenza del primo caso come  $R_t(af)$  e del secondo come  $R_t(av)$ .

Si avrà:

$$R_t(af) = R_{si} + R1 + R2 + R3 + R_{se}$$

$$R_t(av) = R_{si} + R1 + R_{si}$$

La ventilazione è una tecnica ampiamente utilizzata nelle coperture. La tecnica consiste nella creazione di un'intercapedine tra l'isolante ed il manto di rivestimento in coppi o altro. L'aria in ingresso presso la gronda si scalda lambendo l'isolante e quindi sale per convezione verso il colmo dal quale fuoriesce portando con se il calore e l'umidità sottratta durante il percorso. Un tetto a causa dell'insolazione in estate può raggiungere temperature elevatissime (oltre gli  $80 \text{ }^\circ\text{C}$ ) e pertanto irradiare sia verso il cielo che verso gli ambienti interni. La ventilazione può ridurre tale fenomeno se abbinata alla posa di uno strato riflettente ed alla realizzazione di una struttura capace di sfasare ed attenuare l'onda termica. Ugualmente efficace la realizzazione di un tetto



verde capace di sfruttare il fenomeno di raffrescamento dell'evaporazione naturale del terreno e delle piante. In ogni caso il ruolo principale della ventilazione di un tetto rimane quello di evitare che al suo interno si formi della condensa.

#### 1.4. Le caratteristiche dei materiali utili al calcolo delle trasmittanze

Le norme UNI 10351, UNI EN ISO 10456, UNI 10355 forniscono i dati necessari per il calcolo delle trasmittanze dei componenti edilizi di uso più diffuso.

Le UNI 10351 “*Materiali da costruzione. Conduttività termica e permeabilità al vapore*” identificano per i vari materiali le principali caratteristiche termiche. Le UNI 10351 fanno riferimento ad una conduttività apparente misurata in laboratorio su campioni di spessore uguale o maggiore di 10 cm ed alla temperatura media di 293 K con una differenza di temperatura tra le due facce, per materiali la cui massa volumetrica è minore di 300 kg/m<sup>3</sup>, maggiore di 15 K. Inoltre si considera un contenuto di umidità percentuale in massa minore del 2%. I valori medi delle conduttività, riscontrati in produzione, possono discostarsi anche del 50% rispetto alla conducibilità effettiva. Il coefficiente di correzione  $m$  tiene conto, in condizioni di reale esercizio, del contenuto percentuale di umidità riferito alla massa del materiale secco, dell'invecchiamento, del costipamento dei materiali sfusi, della manipolazione e posa in opera (considerata comunque a regola d'arte). La colonna della conduttività utile di calcolo è desunta dalla conduttività apparente maggiorata del fattore  $m$  (fornito come percentuale di incremento).

Le UNI 10355 forniscono la massa volumica e superficiale nonché la resistenza termica per strutture in opera con giunti tra i componenti di tipologia standard senza intonaco. I valori forniti si riferiscono a strutture in opera con giunti di spessore pari a 12 mm. Quando nella pratica realizzazione vengono impiegati giunti da 5 mm di spessore la resistenza termica deve essere incrementata del fattore correttivo pure indicato in norma.

Le caratteristiche di conducibilità termica di un materiale dipendono fortemente dall'umidità contenuta nel materiale, dalla temperatura dello stesso e dallo stato di conservazione o invecchiamento, dalle condizioni di posa.

La UNI EN ISO 10456 distingue tra  $\lambda_D$  e  $\lambda_d$  ove il primo rappresenta la conducibilità misurata in condizioni standard di laboratorio la seconda quella del componente posato in opera.

La stessa norma introduce tre fattori  $F_t$ ,  $F_m$ ,  $F_a$  che sono i fattori correttivi per temperatura, umidità e invecchiamento.

La trasmittanza termica media (W/m<sup>2</sup>K) è il valore medio, pesato rispetto alle superfici lorde, delle trasmittanze dei singoli componenti della struttura posti in parallelo tra di loro, comprese le trasmittanze termiche lineari dei ponti termici se presenti. Nel caso di edifici esistenti, in assenza di dati di progetto attendibili o comunque di informazioni più precise la norma UNI-TS 11300 Parte 1 prevede che lo scambio termico attraverso i ponti termici sia determinato forfettariamente mediante l'applicazione di una maggiorazione percentuale (UNI-TS 11300-1 Prospetto 4).

Volendo dare dei valori tipici di conducibilità termica ai materiali più comunemente utilizzati (espressa in m K/W) si ha:

- Isolante in XPS (polistirolo estruso)  $\lambda = 0,040$ ;
- Isolante EPS (polistirolo espanso)  $\lambda = 0,035$ ;
- Lana di roccia  $\lambda = 0,035$ ;
- Mattone con perlite  $\lambda = 0,09$ ;

- Intonaco in calce cm 1,5  $\lambda = 0,8$ ;
- Legno circa  $\lambda = 0,13$ ;
- Mattone forato  $\lambda = 0,36$ ;
- Calcestruzzo alleggerito  $\lambda = 0,45$ ;
- Mattone pieno  $\lambda = 0,7-0,8$ ;
- Vetro  $\lambda = 1$ ;
- Calcestruzzo armato  $\lambda = 2,3$ ;
- Alluminio  $\lambda = 260$ .

Avere un involucro edilizio molto isolato con una temperatura elevata delle pareti sul lato interno non solo riduce i consumi, ma evita problemi di condensazione di umidità e aumenta il *comfort*. Il corpo umano, anche se la temperatura dell'aria in cui è immerso è alta (20 °C), in presenza di pareti fredde (vetrate o pareti debolmente coibentate), irradia verso di esse è ciò provoca una sensazione di disagio. Il *comfort* infatti non dipende solo dalla temperatura dell'aria (20 °C) ma anche da altri fattori quali l'abbigliamento, l'attività fisica che svolgiamo, la velocità dell'aria (una corrente di aria crea una sensazione di malessere), dall'umidità relativa dell'aria, dalla temperatura radiante e cioè dalla temperature media delle pareti interne.

La sensazione di non *comfort* da luogo a reazioni tese a mantenere la temperatura interna del sistema "corpo umano" pari a 37 °C. La sudorazione è una reazione che, tramite l'evaporazione tende a raffreddare la pelle. Il tremolio, in caso di sensazione di freddo, cerca di riscaldare l'organismo mediante energia meccanica convertita in energia termica. Se una abitazione ha tutte pareti calde ed a temperatura omogenea si ha una sensazione di *comfort* anche con una temperatura dell'aria minore di 20 °C. In estate con 30 °C ed una umidità relativa del 55% si può stare meglio che con 28 °C ed una umidità del 70%.

### 1.5. I ponti termici-ponti termici corretti

I ponti termici sono zone critiche dell'isolamento termico e cioè parti limitate dell'involucro con una densità di flusso termico maggiore rispetto agli elementi adiacenti.

Sono normalmente classificati in ponti termici geometrici o strutturali.

I ponti termici geometrici sono dovuti alla differenza di superficie disperdente sul lato interno (minore) rispetto a quella presente sul lato esterno (maggiore) che si ha in corrispondenza dei giunti tra parete e pavimento o parete e soffitto, negli spigoli dell'edificio quali i collegamenti tra due pareti diversamente orientate. In pratica essendo la superficie della parte interna della muratura minore di quella esterna, si ha che la parete interna nello spigolo avrà una temperatura superficiale minore delle altre pareti interne superficiali. Spesso si notano muffe proprio negli spigoli interni delle pareti ad angolo. Si possono considerare ponti termici geometrici anche i ponti termici dovuti al restringimento in spessore dell'involucro dovuto per esempio alle nicchie dei radiatori, all'inserimento di infissi o altro.

I ponti termici strutturali sono dovuti a disomogenità dei materiali e quindi a discontinuità del valore della trasmittanza. Si verificano in corrispondenza degli innesti di elementi strutturali (solai, pareti verticali, pilastri, travi, ecc.).

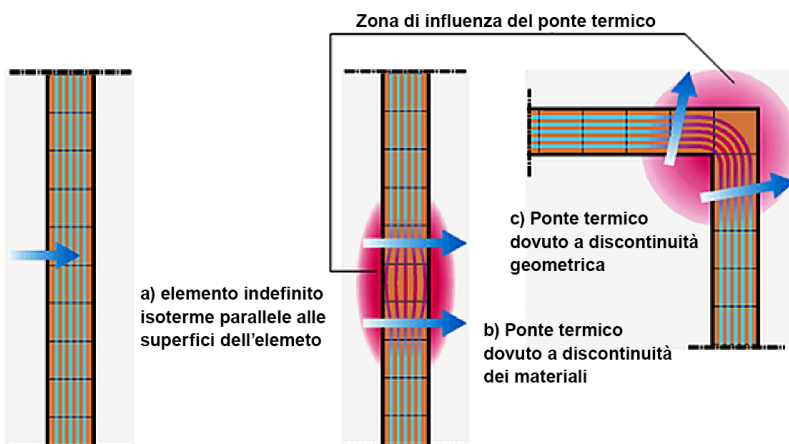
Si tratta in definitiva di presenza di materiali a maggiore trasmittanza che si compenetra in un involucro che ha caratteristiche prestazionali maggiori.

Inoltre i ponti termici vengono classificati in ponti termici lineari o puntuali:

- sono lineari i cordoli, le travi, i pilastri (sviluppo verticale) innesti di balconi, di marciapiedi, davanzali passanti, nicchie, spigoli.
- sono puntuali pilastri (attacco a pavimento o soffitto), i tasselli per il fissaggio di accessori all'involucro (tende, persiane, scuri, ecc.).

I ponti termici sono responsabili di una diminuzione del *comfort* ambiente, di fenomeni di condensazione superficiale ed interstiziale del vapor acqueo contenuto nell'aria e pertanto di formazione di muffe. I ponti termici sono valutati dalla norma UNI EN ISO 14683 ed UNI EN ISO 10211-1. La norma UNI EN ISO 10211-1 definisce la modellazione geometrica 3D e 2D di un ponte termico ai fini del calcolo dello stesso agli elementi finiti.

Con l'utilizzo di tali software<sup>[1]</sup> si evidenzia che nei tratti distanti dal punto singolare (ponte termico) le linee di flusso sono parallele l'una all'altra poiché le isoterme sono parallele tra di loro. Le linee di flusso termico sono perpendicolari alle isoterme. Avvicinandosi al ponte termico le isoterme si perturbano, si curvano, si spostano verso l'esterno della struttura (lato freddo) e si intensificano così come si intensificano le linee di flusso che non sono più parallele tra di loro.



I software agli elementi finiti permettono di determinare, imposte le corrette situazioni al contorno, le temperature superficiali interne e pertanto verificare se si forma condensa superficiale sulle pareti. Con tali software è possibile importare disegni in formato .dxf o disegnare direttamente le stratigrafie a mezzo di polilinee. Il calcolo si implementa una volta assegnati i materiali (è presente un archivio personalizzabile dall'utente) e le condizioni al contorno (resistenze superficiali, temperature interne ed esterne – temperature degli ambienti non riscaldati o diversamente riscaldati). I risultati sono le isoterme all'interno della stratigrafia o una mappa di colori associati alle temperature. La UNI EN ISO 2011 definisce le dimensioni del nodo da studiare (1 metro dal ponte termico oppure tre volte lo spessore dell'elemento), il piano di posizionamento dei tagli, le condizioni al contorno da utilizzare, le resistenze superficiali da impostare e le temperature minime superficiali da garantire.

[1] Vedi ad esempio <http://windows.lbl.gov/software/therm>

L'allegato B della direttiva tecnica Klimahaus impone, in accordo con la suddetta norma UNI, di effettuare la verifica con temperature interne di 20 °C ed esterne pari alla minima temperatura media mensile della località. Inoltre tale direttiva tecnica impone una resistenza superficiale interna di 0,25 m<sup>2</sup>/kW ed esterna 0,04 m<sup>2</sup>/kW. La verifica di ponte termico corretto ha esito positivo se, dal calcolo effettuato, si determina che le temperature superficiali delle pareti sono superiori a 17 °C e quelle degli attacchi infissi pareti superiori a 13 °C.

Non volendo effettuare calcoli agli elementi finiti è possibile ricorrere agli atlanti dei ponti termici che forniscono, per situazioni tipiche, il coefficiente lineico del ponte termico  $\psi$ . Tale coefficiente moltiplicato per la lunghezza del ponte termico e per la differenza di temperatura tra ambiente interno ed esterno, permette di valutare il maggior flusso causato dal ponte termico esaminato.

Poiché i software agli elementi finiti forniscono il flusso complessivo del ponte termico (coefficiente di accoppiamento termico) mediante il loro utilizzo è possibile calcolare il coefficiente  $\psi$  con la seguente formula:

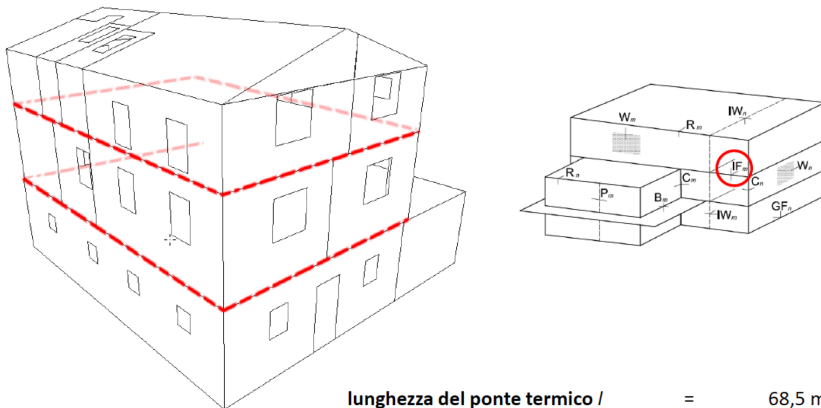
$$\psi = L^{2D} - \sum U_i \times l_i$$

In cui:

$L^{2D}$  è il coefficiente di accoppiamento termico ottenuto con un calcolo bidimensionale;

$U_i$  è la trasmittanza termica dell'elemento  $i$ -esimo monodimensionale;

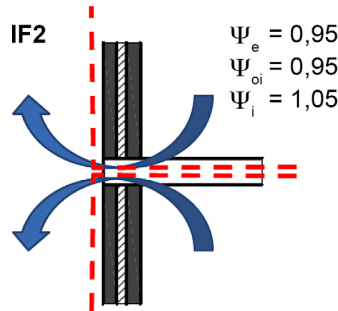
$l_i$  è la lunghezza del modello geometrico bidimensionale su cui si è effettuato il calcolo.



Il ricorso ai coefficienti lineici, sebbene risulti un metodo semplificato rispetto al calcolo effettuato con software agli elementi finiti, fornisce un valido strumento operativo. I valori dei coefficienti lineici  $\psi$  riportati negli atlanti sono ricavati da norme tecniche quali le UNI EN ISO 14683:2001 e 14683:2008 (Coefficiente di trasmissione termica lineica – Metodi semplificati e valori di riferimento) o le francesi TH-K77.

Le UNI EN ISO 14683 definiscono e classificano i ponti termici che si verificano di frequente in un edificio. La posizione del ponte termico è indicata con una lettera (R, B, C, F, IW, P e W).

Per i ponti termici di zone adiacenti, il flusso termico deve essere ripartito tra le zone di interesse.

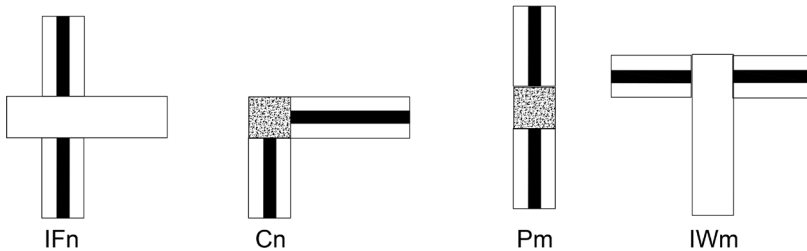


Il prospetto 2 della UNI EN ISO 14683 indica i valori di  $\Psi$  dei ponti termici raggruppati per tipologia.

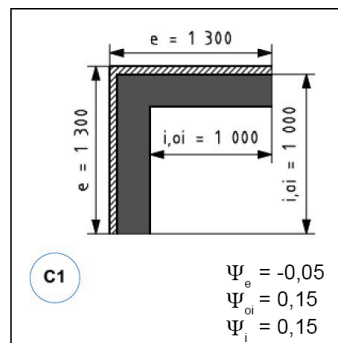
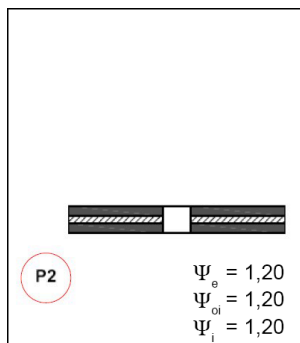
Per ogni tipologia vengono riportati i valori di  $\Psi$  secondo quattro diverse disposizioni dell'isolante (isolante sul lato esterno dell'elemento edilizio, nella parte intermedia, sul lato interno, uniformemente distribuito). Il caso uniformemente distribuito si prende in considerazione per le murature leggere o pareti intelaiate in legno.

Per ogni tipo di ponte termico (definito pertanto dalla lettera o posizione e dalla disposizione dell'isolante), il prospetto 2 fornisce una indicazione grafica del dettaglio costruttivo, il coefficiente di accoppiamento termico  $L^{2D}$  (cioè la dispersione totale – ponte termico più parete corrente riferita all'edificio tipo preso come riferimento dalla norma) e tre valori di  $\Psi$ :

- $\Psi_i$  basato sulle dimensioni interne del modello;
- $\Psi_{oi}$  basato sulle dimensioni intermedie;
- $\Psi_e$  basato sulle dimensioni esterne.



*Esempi di ponti termici di struttura – denominazioni Norme UNI*



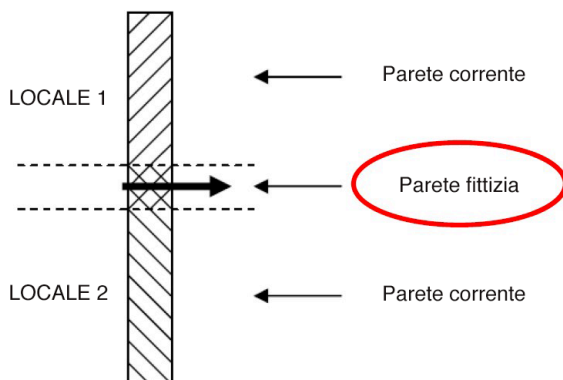
La norma UNI 11300-1, punto 11.1.3 prospetto 4, fornisce dei valori percentuali di incremento delle trasmittanze delle strutture per tenere conto dei ponti termici, tale metodo si può applicare solo per edifici esistenti e solo se non è possibile desumere informazioni specifiche circa la tipologia dei ponti termici.

Di seguito la tabella con le tipologie di murature e le percentuali di incremento:

Descrizione della struttura	Maggiorazioni percentuali relative alla presenza dei ponti termici
Parete con isolamento dall'esterno (a cappotto) senza aggetti/balconi e ponti termici corretti	5%
Parete con isolamento dall'esterno (a cappotto) con aggetti/balconi	15%
Parete omogenea in mattoni pieni o in pietra (senza isolante)	5%
Parete a cassa vuota con mattoni forati (senza isolante)	10%
Parete a cassa vuota con isolamento nell'intercapedine (ponte termico corretto)	10%
Parete a cassa vuota con isolamento nell'intercapedine (ponte termico non corretto)	20%
Pannello prefabbricato in calcestruzzo con pannello isolante all'interno	30%

Un ponte termico si dice corretto, secondo il punto 26 dell'allegato A (*Ulteriori definizioni*) del decreto legislativo 29 dicembre 2006, n. 311 (*Disposizioni correttive ed integrative al decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192, recante attuazione della direttiva 2002/91/CE, relativa al rendimento energetico nell'edilizia*), quando la trasmittanza termica della parete fittizia (il tratto di parete esterna in corrispondenza del ponte termico) non supera per più del 15% la trasmittanza termica della parete corrente.

Analizziamo la definizione di ponte termico corretto a mezzo della figura seguente:



Consideriamo il ponte termico determinato dall'inserimento di due elementi di diversa prestazione termica l'uno nell'altro.

La parete fittizia è un elemento geometrico di spessore  $l_f$  pari a quello della parete che lo include e di altezza  $l$  uguale a quello della parete o solaio che si innesta.

La trasmittanza della parete fittizia è la trasmittanza tale da generare lo stesso coefficiente di dispersione del ponte termico con riferimento all'area della parete fittizia.

Detto  $H_f$  il coefficiente di dispersione della parete fittizia si ha:

$$H_f = \psi \times l = U_f \times A_f$$

In cui:

$$A_f = L_f \times l$$

Quindi la trasmittanza della parete fittizia è

$$U_f = \frac{\Psi}{L_f}$$

Il ponte termico si dice corretto se:

$$U_f \leq 1,15 \times U_c$$

In caso contrario non è corretto ed occorre calcolare la trasmittanza termica media  $U_m$  data da:

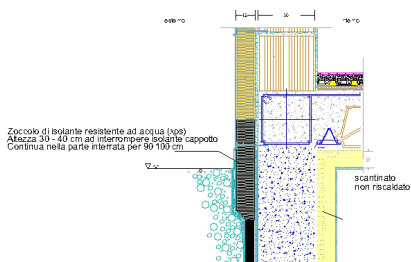
$$U_m = \frac{U_c \times A_c + \Psi \times l}{A_c}$$

La correzione dei ponti termici può avvenire solo con uno studio accurato dei particolari costruttivi e dei punti critici.

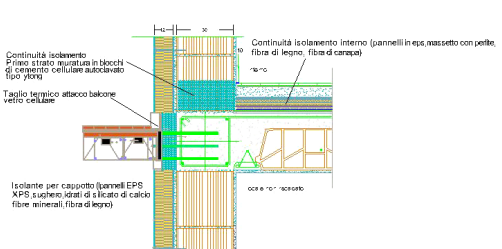
Di seguito alcuni di tali approfondimenti, sempre più necessari per la realizzazione di edifici altamente prestazionali dal punto di vista energetico del *comfort* e della salubrità dell'ambiente abitativo.

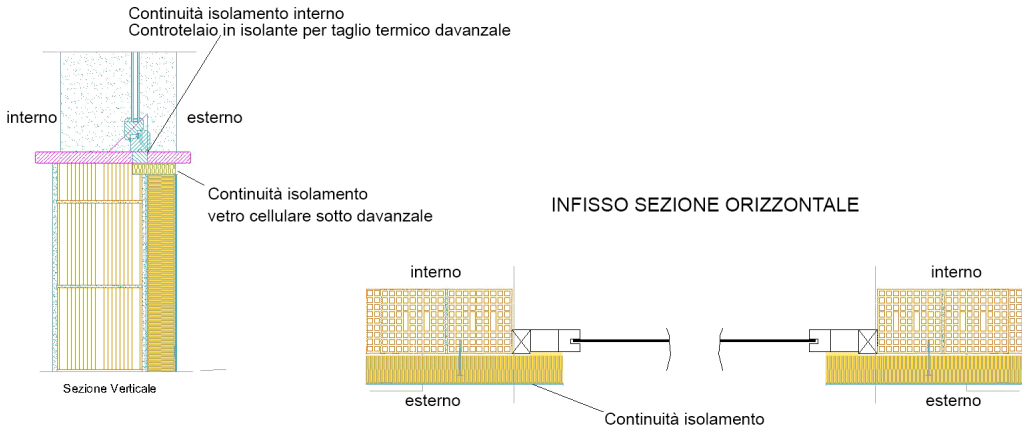
### CORREZIONE PONTE TERMICO

INFISSO SEZIONE ORIZZONTALE

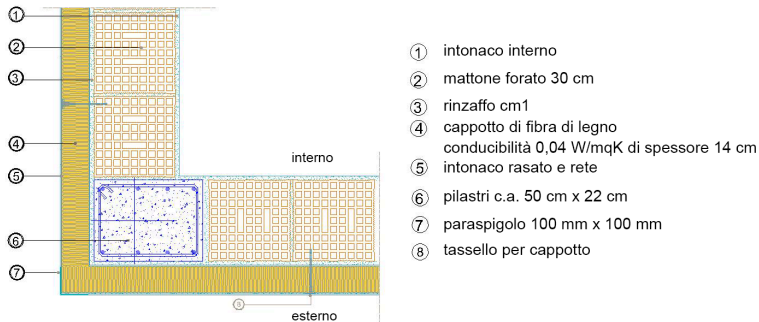


INFISSO SEZIONE ORIZZONTALE





**CORREZIONE PONTE TERMICO  
PONTE TERMICO GEOMETRICO E PILASTRO**



Con cappotti di spessore minore di 10 cm (stessa conducibilità) occorre incamiciare il pilastro

Uno strumento efficace per evidenziare i ponti termici è quello della termografia ad infrarosso. Una macchina fotografica sensibile alle radiazioni infrarosse (vedere paragrafo 1.15), riesce a evidenziare le zone fredde dell'involucro edilizio e pertanto le sedi dei ponti termici. Una diagnostica effettuata prima degli interventi di correzione (*ante operam*) ed una *post operam*, permette per confronto, di comprendere la bontà delle soluzioni applicate.

La correzione dei ponti termici è più facile per nuovi edifici per i quali non vi sono vincoli che impediscano le adeguate prassi costruttive e di esecuzione dei punti critici. Si sta per esempio consolidando la tecnica di costruire i balconi con strutture separate e che comunque non siano un prolungamento dei solai in latero-cemento. I balconi infatti rappresentano per l'edificio un forte elemento di dispersione funzionando allo stesso modo delle alette di raffreddamento di una testata di un motore a scoppio.

Per gli edifici esistenti una soluzione consigliabile è quella di isolare adeguatamente travi, solai, cordoli, sporti dei balconi, architravi degli infissi. In taluni casi è opportuno ricoprire tali elementi con isolante come pure avvolgere, per almeno uno o due metri a partire dall'attacco con il solaio, balconi e marciapiedi con isolante.

Un sistema che consente di correggere la maggior parte dei ponti termici su un edificio esistente è quello di effettuare una coibentazione esterna dell'edificio "a cappotto". Dall'interno è



spesso impossibile, su un edificio esistente, riuscire a foderare tutte le travi, gli innesti dei solai o i raccordi delle finestre ed inoltre l'isolamento interno è più problematico sia perché riduce la superficie abitabile, sia perché mantiene fredda la muratura lato esterno e pertanto la rende soggetta a fenomeni di condensa interstiziale, sia infine perché la prestazione estiva dell'involucro e anche il fattore di utilizzazione degli apporti gratuiti invernali peggiorano.

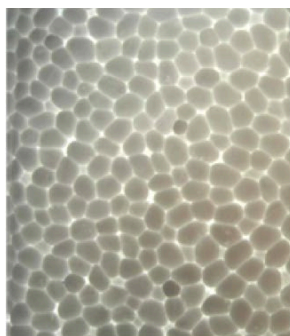
La soluzione dei ponti termici viene ottenuta solo se si ha continuità dell'isolante senza alcuna interruzione.

L'attacco a terra o del primo solaio deve essere realizzato con mattoni ad altra prestazione (per esempio laterizio porizzato o autoclavato tipo Ytong). A volte piccoli accorgimenti quali l'isolamento degli architravi in calcestruzzo delle finestre, l'isolamento dei cassonetti, l'uso di cassonetti esterni o di infissi monoblocco consentono di correggere molti ponti termici legati alla posa degli infissi. Le zone sottostanti i davanzali delle finestre devono essere isolate e tra davanzale esterno ed interno previsto un elemento di taglio termico. In tal modo si evita la classica formazione di muffa sotto i davanzali delle finestre dovuta proprio al ponte termico creato dal davanzale e dal restringimento della parete in prossimità dell'infisso.

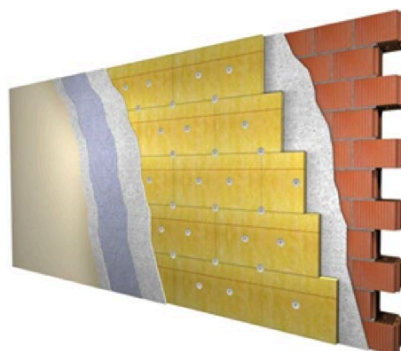
Se la finestra non è a filo muro esterno occorre sovrapporre l'isolante del cappotto anche al telaio dell'infisso che di per se rappresenta un ponte termico. I cordoli ed i balconi che si innestano nell'involucro devono essere coperti da isolante su tutti i lati e lo spessore dello stesso essere maggiorato in corrispondenza di tali elementi. La coibentazione del tetto deve essere risvoltata anche sul tamponamento esterno adiacente. Ugualmente vi deve essere continuità tra il solaio del sottotetto ed il tamponamento esterno. Ove non fosse possibile occorre prevedere opportuni elementi di taglio termico in materiale resistente a compressione (vetro cellulare o altro) tra la struttura del tetto e il tamponamento verticale adiacente. Per i ponti termici che si formano tra il primo solaio e ambienti interrati conviene proseguire l'isolamento dei tamponamenti anche lungo le pareti interne o esterne dell'interrato senza interruzione di continuità. La risoluzione dei ponti termici è maggiormente importante in abitazioni ad alte prestazioni termiche in quanto il peso percentuale dei ponti termici stessi, rispetto alle altre dispersioni, diviene importante.

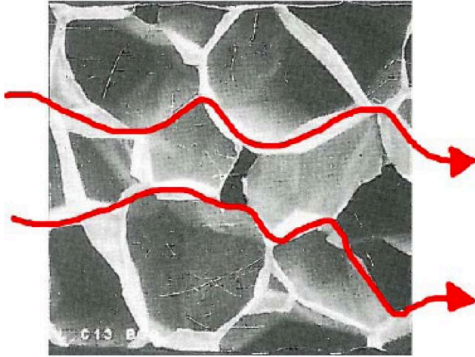
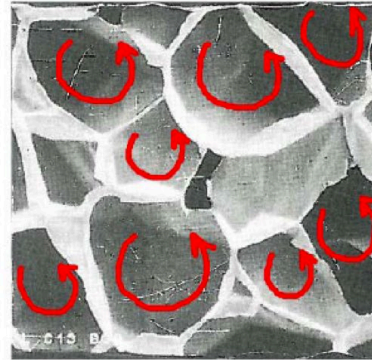
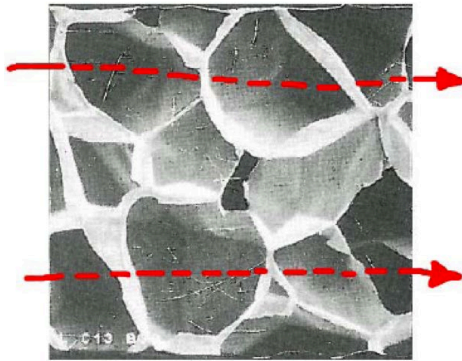
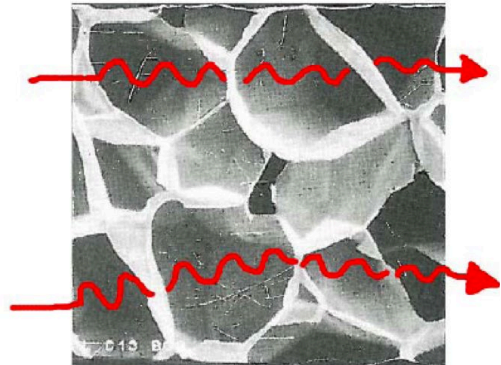
### 1.6. *Gli isolanti termici*

I materiali termoisolanti sfruttano un semplice principio e cioè che l'aria ferma non ha scambi convettivi e pertanto riduce il flusso energetico. Si tratta di materiali cellulari o fibrosi.



Cellulare



**conduzione attraverso la matrice****convezione****conduzione attraverso l'aria****irraggiamento**

Un materiale per essere definito termoisolante deve avere una conducibilità  $\lambda$  minore di 0,1 W/mK. Sono i materiali fondamentali per ridurre la trasmittanza degli elementi opachi, aumentare l'isolamento di un edificio e correggere i ponti termici.

Gli isolanti possono essere:

- di origine minerale (fibra di vetro, fibra di roccia, vetro cellulare, vermiculite espansa, pomice, perlite espansa);
- di origine sintetica (polistirene espanso sintetizzato – EPS, polistirene estruso XPS, poliuretano, poliestere);
- di origine animale (lana di pecora);
- di origine vegetale (sughero, fibra di cellulosa, paglia, fibra di lino, fibra di cotone).

Essi possono essere forniti come materiali sfusi e di riempimento (granuli di perlite, fiocchi di cocco, fibre di vetro) e vengono così posati nelle intercapedini o come alleggerimento del calcestruzzo. Possono essere lavorati in feltri o materassini ed adatti a fasciare travi o pilastri. A volte sono lavorati in pannelli rigidi utili per il cappotto.

Di un isolante è importante conoscere anche le proprietà fonoisolanti (sempre più spesso occorre avere materiali ambivalenti che assicurino oltre alle prestazioni termiche quelle acustiche di legge), le proprietà di resistenza al fuoco, le proprietà di resistenza meccanica e soprattutto il grado di resistenza all'umidità.

In alcuni materiali igroscopici l'acqua penetra e si sostituisce alle spazi di aria riducendo le proprietà isolanti. In altri materiali le fibre assorbono l'acqua determinando un aumento di volume ed una minore diminuzione del grado di isolamento. Pertanto alcuni isolanti possono essere posati solo in luoghi asciutti e debbono essere protetti dall'umidità, altri non sono adatti a luoghi a rischio incendio, altri ancora, per le scarse proprietà meccaniche non possono essere utilizzati per sottofondi di solai calpestabili.

Importante è poi anche la permeabilità al vapore ed i dati di capacità termica dell'isolante. Un isolante che contribuisce ad aumentare la capacità termica della struttura nella quale è inserito è da preferire ad altri. Il largo uso che in passato si è effettuato di isolanti non riciclabili e/o derivati dal petrolio sta ponendo poi l'attenzione anche sugli aspetti ecologici.

Come già detto, tra la posa di un isolante internamente all'edificio o esternamente è di gran lunga preferibile l'isolamento esterno detto a "cappotto". L'isolamento a cappotto classico consiste nell'incollare in facciata un isolante che vada a coprire tutti i ponti termici (innesti di solai, travi in c.a., ecc.), su tale isolante di solito si posa un intonaco con rete di supporto, poi uno strato protettivo di silicati ed infine la finitura di facciata.

Di notevole rilievo, anche se molto costosi, sono gli isolanti sotto vuoto che raggiungono  $\lambda$  pari a 0,0045 W/mK. In pratica l'aria racchiusa nell'isolante viene sostituita dal vuoto. Il loro vantaggio è che con piccoli spessori si raggiungono elevati valori di isolamento e pertanto sono molto utili nel caso di risanamento di edifici esistenti. In fase di installazione i pannelli devono essere maneggiati con cura in quanto sia la pellicola protettiva, che i giunti termosaldati sono delicati ed un piccolo taglio può far perdere il mantenimento del sottovuoto. Per lo stesso motivo i pannelli non possono essere tagliati per adattarli alle esigenze di posa.

Di seguito alcuni isolanti e le principali loro caratteristiche:

### *Materiali isolanti riciclabili*

Materiale tipo	Tipo	Applicazione	$\lambda$ [W/mK]	C	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\mu$
<b>Calce espansa</b>	pannello	pavimenti, pareti, soffitti	0,045	1116	100	7
<b>Canapa</b>	materassino	intercapedini orizzontali	0,04	612	22	2
<b>Canna lacustre</b>	pannello	pareti, soffitti	0,056	612	190	1
<b>Carta riciclata</b>	sfuso	intercapedini	0,07	1800	400	2
<b>Cocco</b>	fibre, materassino	intercapedini orizzontali	0,057	1500	60	1
<b>Fibra di legno</b>	materassino	intercapedini orizzontali	0,04	2088	80	100
<b>Fibra di legno intonacabile</b>	pannello	pareti	0,045	2088	200	10
<b>Lana di legno mineralizzata</b>	pannello	porta intonaco	0,1	1800	400	4
<b>Lana di pecora</b>	materassino	intercapedini orizzontali	0,04	1730	28	2
<b>Lino</b>	materassino	intercapedini orizzontali	0,04	1600	30	1

**Materiali isolanti minerali**

Materiale tipo	Tipo	Applicazione	$\lambda$ [W/mK]	C	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\mu$
Lana di vetro	materassino	intercapedini orizzontali	0,04	900	30	1
Lana di vetro compattata	pannello	pavimenti, pareti, soffitti	0,04	900	100	1
Silicato di calcio	pannello	soffitti	0,05	920	230	1
Vetro alveolare	pannello	Isolamento, struttura pavimento, pareti	0,045	900	150	$\infty$

**Materiali isolanti derivati dal petrolio**

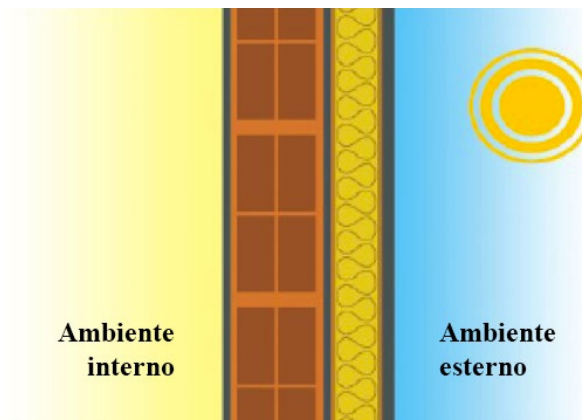
Materiale tipo	Tipo	Applicazione	$\lambda$ [W/mK]	C	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\mu$
Poliestere	materassino	intercapedini orizzontali	0,04	1600	17	2
Polistirene espanso	pannello	intercapedini orizzontali	0,035	1260	25	50
Polistirene espanso con grafite	pannello	pavimenti, pareti, soffitti	0,031	1260	35	50/100
Polistirene estruso	pannello	pavimenti, pareti, soffitti	0,035	1260	35	80/230
Poliuretano	pannello	pavimenti, pareti, soffitti	0,03	1260	35	80

In cui:

$\lambda$  è la conducibilità termica;

$\rho$  è la massa volumica;

$\mu$  è il fattore di resistenza alla diffusione del vapore acqueo.



*Isolamento a cappotto*