

 POLITECNICO DI MILANO



Ponti Termici: DISPERDIMENTI E TECNOLOGIE

di: Enrico De Angelis, Andrea Giovanni Mainini
dipartimento BEST - POLITECNICO DI MILANO

I ponti termici: un problema doppio:

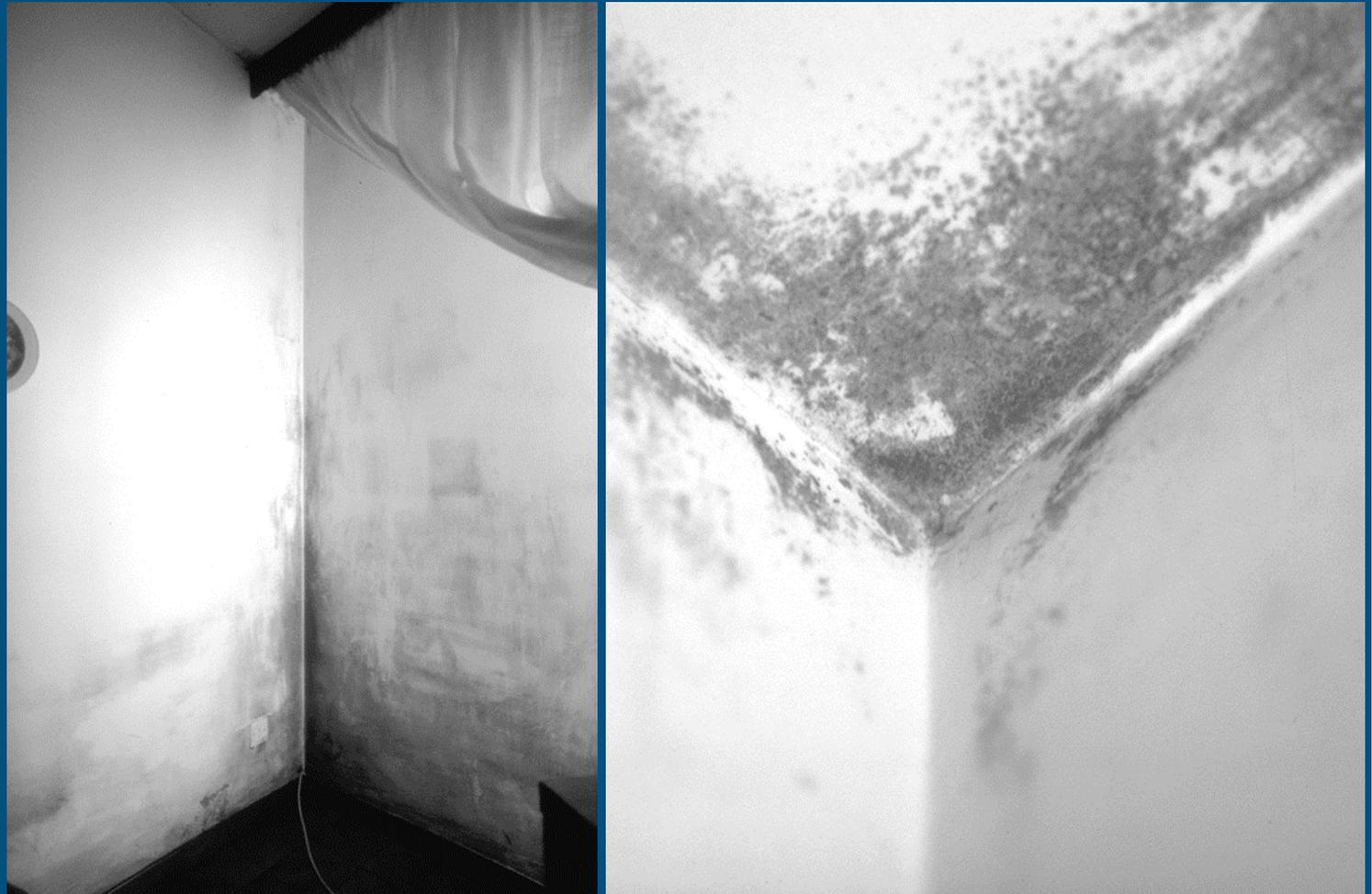
Il problema del **termotecnico**, in senso stretto, è determinare i disperdimenti (da cui fabbisogno e carichi termici) in maniera corretta:

- Il calcolo dei disperdimenti si continua a fare con le trasmittanze termiche piane
- Poi queste vengono “corrette” o si corregge il risultato aggiungendo i “contributi dei ponti termici” (che altro non sono che fattori di correzione delle imprecisioni dovute alla sottostima o sovrastima dei flussi in corrispondenza dei punti singolari) o delle reti di distribuzione.

Il problema del progettista **edile** è concepire (e far realizzare) involucri che minimizzino il peso dei “problemi” causati dai ponti termici:

- Incremento locale dei flussi termici (e quindi dei disperdimenti)
- Eterogeneità delle temperature superficiali (e rischi di condensazione o condensazione differenziata)

Per esempio, negli angoli, la T_{sup} è inferiore anche se non c'è un pilastro, a causa del minore scambio convettivo con l'aria ambiente



La muffa che cresce sulle superfici più umide per effetto di tale condensa, mette in luce la struttura come in una radiografia. Non si tratta di termoforesi anche se non è da escludere l'incremento del deposito di particolato in corrispondenza di una superficie umida





Le prescrizioni circa l'eterogeneità dell'involucro

Il problema “ponti termici” è supportato da molti standard internazionali. Nel nostro Paese, si è stabilito che i ponti termici siano controllati “indirettamente” (non si caratterizzano i singoli dettagli ma si impongono alcuni limiti) che dipendono anche dalle eterogeneità di flusso o di temperatura che le singolarità determinano.

Si richiede che:

- non ci sia **condensa superficiale** per una UR interna pari al 65%
- quando i **ponti termici non sono corretti**, la trasmittanza termica che deve rispettare i limiti superiori deve essere calcolata in maniera equivalente - per le parti opache - tenendo conto di tutti gli incrementi di flusso che si verificano nelle varie singolarità geometriche e materiche.

Si potrebbero anche definire prestazioni “dei ponti termici:

- Fattore di temperatura
- Trasmittanza termica lineare o puntuale

Normalmente:

- Le verifiche circa i rischi di condensa superficiale non sono effettuate in corrispondenza dei ponti termici. Se va bene, si tiene conto delle singularità geometriche e fisiche aumentando la resistenza liminare interna (da 0,11 a 0,20-025), per il calcolo della temperatura superficiale interna.
- L'aumento della trasmittanza media equivalente delle parti opache non viene, normalmente, stimata.
- L'influenza dei ponti termici sui disperdimenti attraverso l'involucro viene normalmente stimata in maniera semplificata:
 - Ricorrendo ad incrementi forfettari (ragionevoli solo per edifici non isolati)
 - Utilizzando valori precalcolati dei contributi dei singoli ponti termici ai disperdimenti (ISO 14863).

Normalmente non si utilizzano strumenti raffinati (ma disponibili free access dalla rete) per operare una stima "raffinata" delle prestazioni.

Il *fattore di temperatura superficiale* (introdotto dalla norma ISO 13788 e precisato nella ISO 10211) correla il salto di temperatura tra la superficie interna e l'ambiente esterno al salto di temperatura complessivo, interno-esterno, e può essere confrontato con il fattore di temperatura di progetto, che dipende dall'incremento della concentrazione di vapore nell'ambiente interno e dalle modalità di formazione della condensa su tali superfici.

$$f_{Rsi} = \frac{\theta_{si} - \theta_e}{\Delta\theta_{i,e}} \geq f_{Rsi,min} = \frac{\theta_{si,lim} - \theta_e}{\Delta\theta_{i,e}}$$

Questo valore non può essere prescritto a prescindere dal clima e dal modello d'uso, ma può essere calcolato per il singolo dettaglio.

La correzione della stima dei disperdimenti è solitamente fatta sul coefficiente di perdita di calore (aggiungendo un ΔH - positivo o negativo - per ogni luogo in cui ci si allontana dalle condizioni ammissibili per la stima attraverso le trasmittanze piane).

Nel caso in cui la singolarità considerata sia caratterizzata da una sezione costante in una direzione lungo la quale si sviluppa per una lunghezza L_i , la si suole identificare con un coefficiente che viene chiamato “trasmittanza lineare” (per similitudine dimensionale).

Se no, si riferisce l'incremento di flusso al solo potenziale di temp.:

$$\psi_i = \frac{\Phi_{pt,i} + U_{piana} \cdot S \cdot \Delta\theta}{\Delta\theta \cdot L_i}$$

$$\chi_i = \frac{\Phi_{pt,i} + U_{piana} \cdot S \cdot \Delta\theta}{\Delta\theta}$$

Tali valori possono essere ragionevolmente prescritti, con motivazioni energetiche (contenimento del peso dei PT sui disperdimenti)

Obiettivo dell'intervento

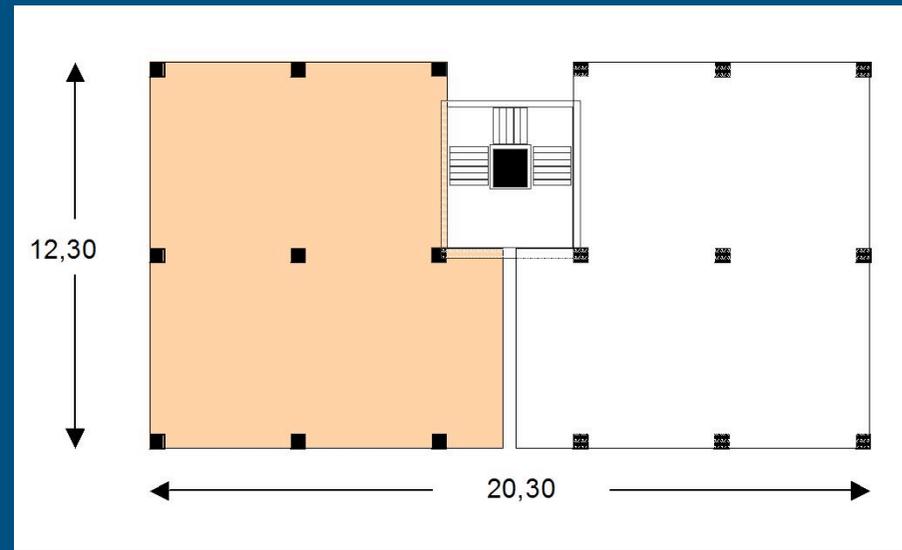
Il ponte termico, nei paesi più “avanzati” (sia in termini di GG che di tecnologie dell'involucro), non è più un problema per il rischio di condensazione. Rimane, invece, un fattore critico per quanto riguarda il suo impatto sul fabbisogno. **Obiettivo dell'intervento:**

- Dimostrare che i ponti termici, se non controllati, ma anche se controllati “poco”), hanno un **impatto notevole sui disperdimenti** e sul fabbisogno energetico di riscaldamento (oggetto di certificazione) e di climatizzazione, in generale.
- Fornire una regola per capire di **“quanto” i ponti termici debbano essere controllati**

Studiamo una tipologia residenziale comune, un **edificio in linea** libero sui quattro lati, di taglio medio:

- 90-100 m² netti per appartamento, due per piano
- Spessore parete perimetrale 0.40 m
- Interasse strutturale: 5.8 x 4.0 m
- Un bagno centrale in aspirazione
- No balconi, facciata semplice
- Profondità corpo di fabbrica 12.3 m
- Solaio inferiore su spazi aperti
- Copertura piana
- Serramenti di altezza pari a 1.5 m e superficie tale da garantire un rapporto aeroilluminante di 1/10

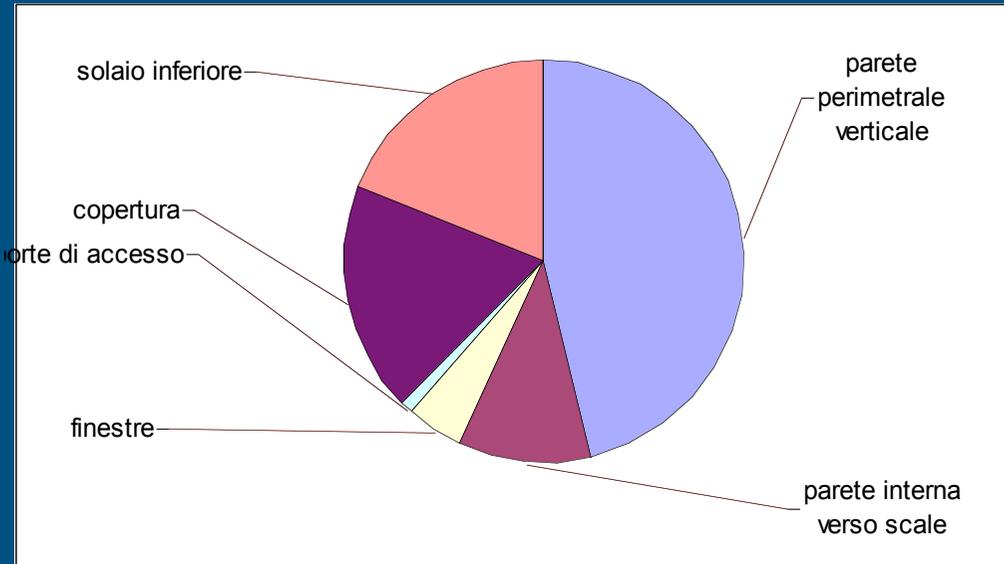
Supponiamo che le trasmittanze termiche siano quelle sotto elencate ($U_{media} = 0,42 \text{ W/m}^2\text{K}$). Ad esse corrisponde un coeff. di disperdimento per trasmissione pari a circa 500 W/K



	S	U	Ft	Ht
parete perimetrale verticale	527.0	0.30	1.0	158.1
parete interna verso scale	130.6	0.80	0.5	52.2
finestre	57.6	2.20	1.0	126.7
porte di accesso	11.3	1.00	1.0	11.3
copertura	227.5	0.30	1.0	68.3
solaio inferiore	227.5	0.33	1.0	75.1
totale involucro	1181.5			491.7

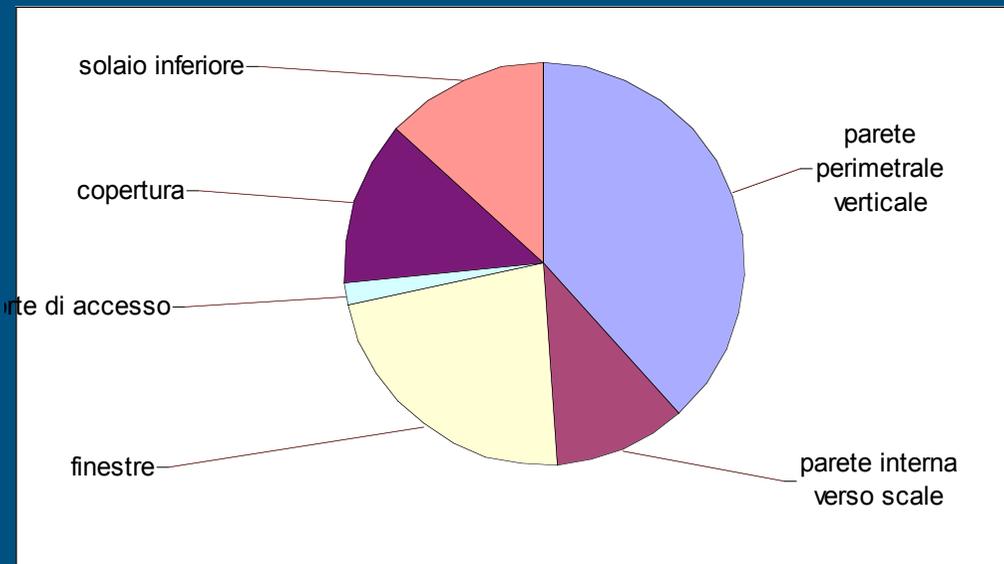
Distribuzione delle superfici disperdenti

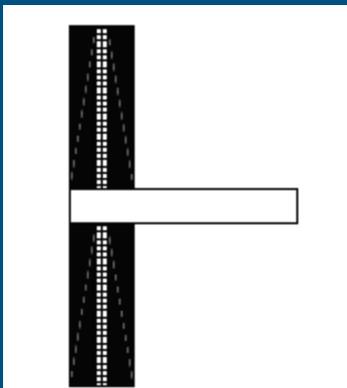
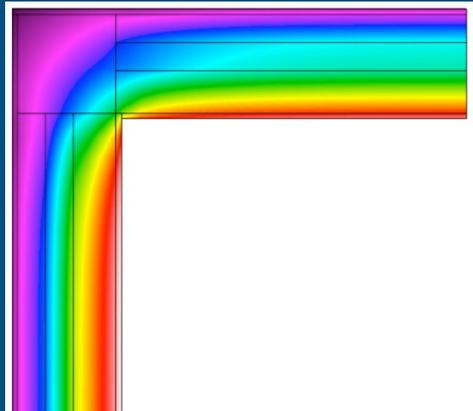
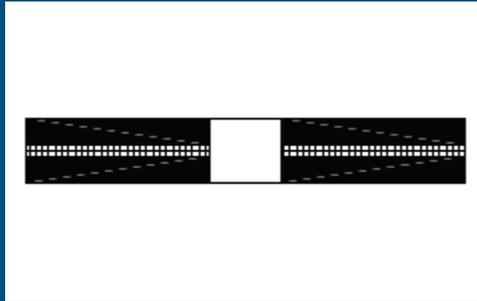
	S%
parete perimetrale verticale	45%
parete interna verso scale	11%
finestre	5%
porte di accesso	1%
copertura	19%
solaio inferiore	19%



Distribuzione dei disp. per trasmissione (no PT)

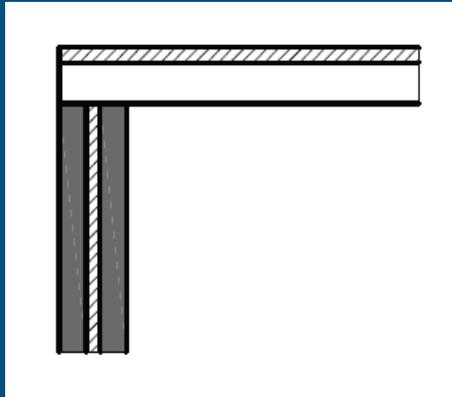
	H%
parete perimetrale verticale	32%
parete interna verso scale	11%
finestre	26%
porte di accesso	2%
copertura	14%
solaio inferiore	15%





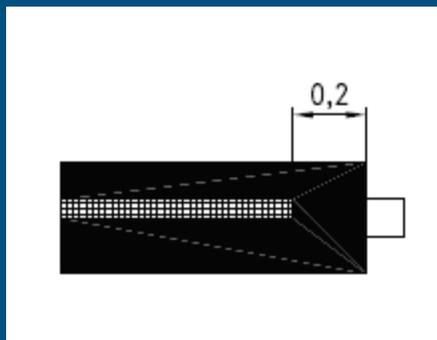
Con rif. alla UNI EN ISO 14683 (dove possib.):

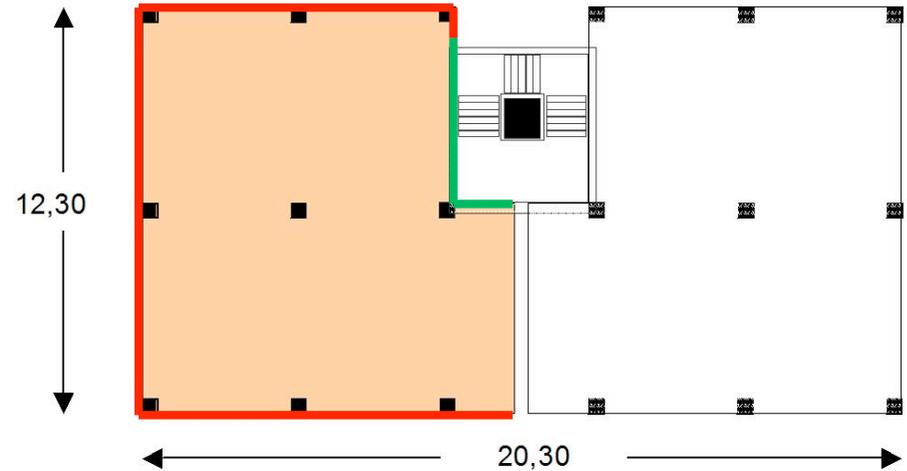
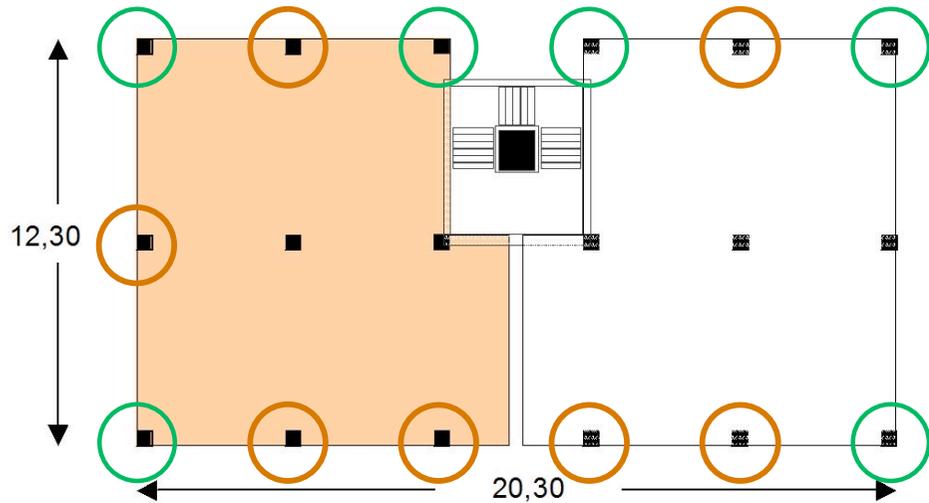
- Pilastro in sezione corrente e parete perimetrale a cassetta con isolamento interposto: $\Psi_e = 1,20$ (W/K)
- Pilastro in angolo verso esterno e parete perimetrale a cassetta con isolamento interposto: $\Psi_e = 0,30$ (W/K)
- Pilastro in angolo vs interno: $\Psi_e = 0,60$
- Solaio in CA che interrompe l'isolante della parete perimetrale a cassetta:
 - $\Psi_e = 0,95$ (W/K)
- Stesso valore per balcone e solaio a sbalzo (scala)



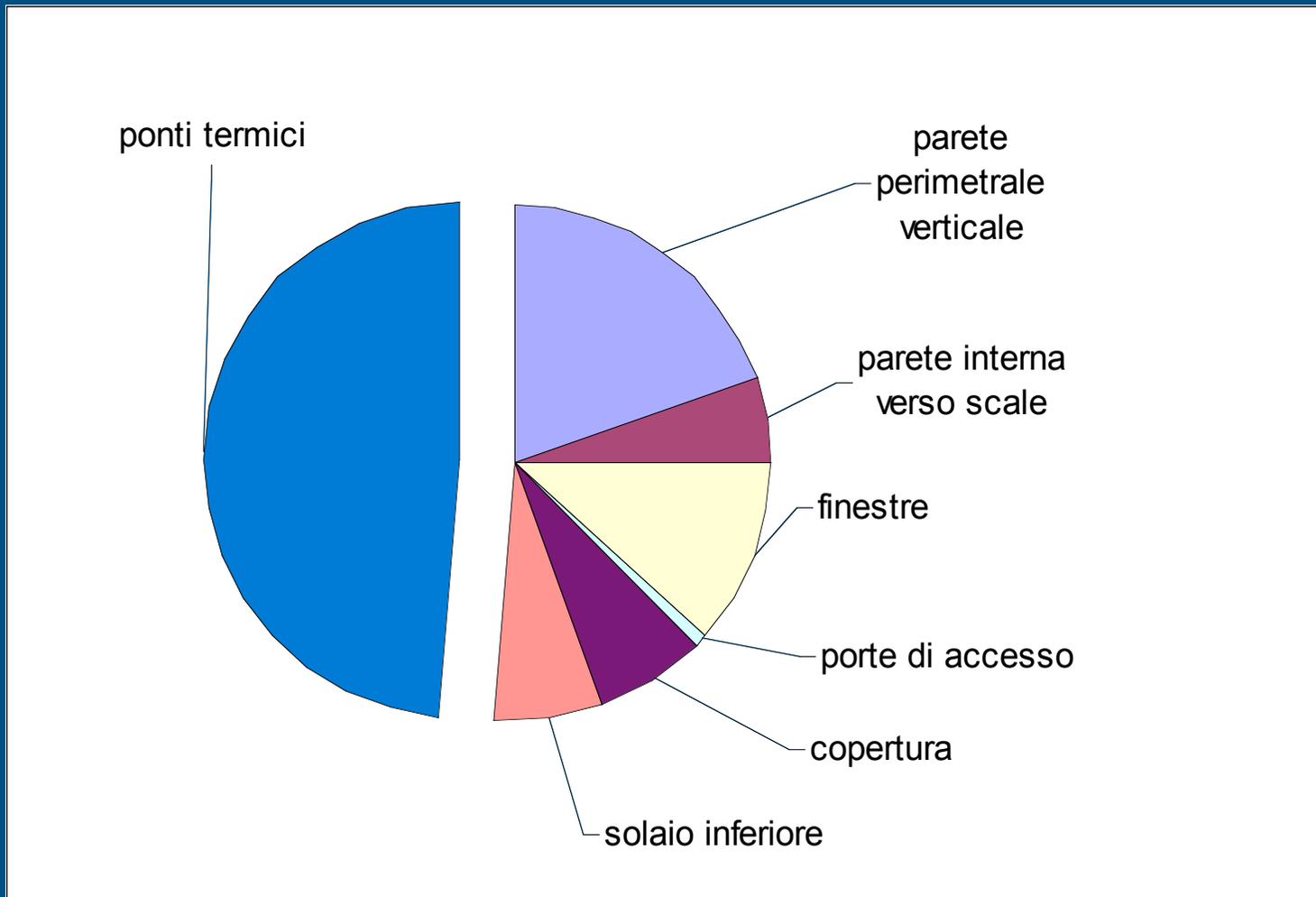
Facciamo i conti secondo la UNI EN ISO 14683 (dove è possibile)

- Copertura piana isolata con isolante discontinuo: $\Psi_e = 0,50$ (W/K)
- Ipotizziamo che il solaio inferiore sia fatto alla stessa maniera ...
- Serramento: $\Psi_e = 1,00$ (W/K)





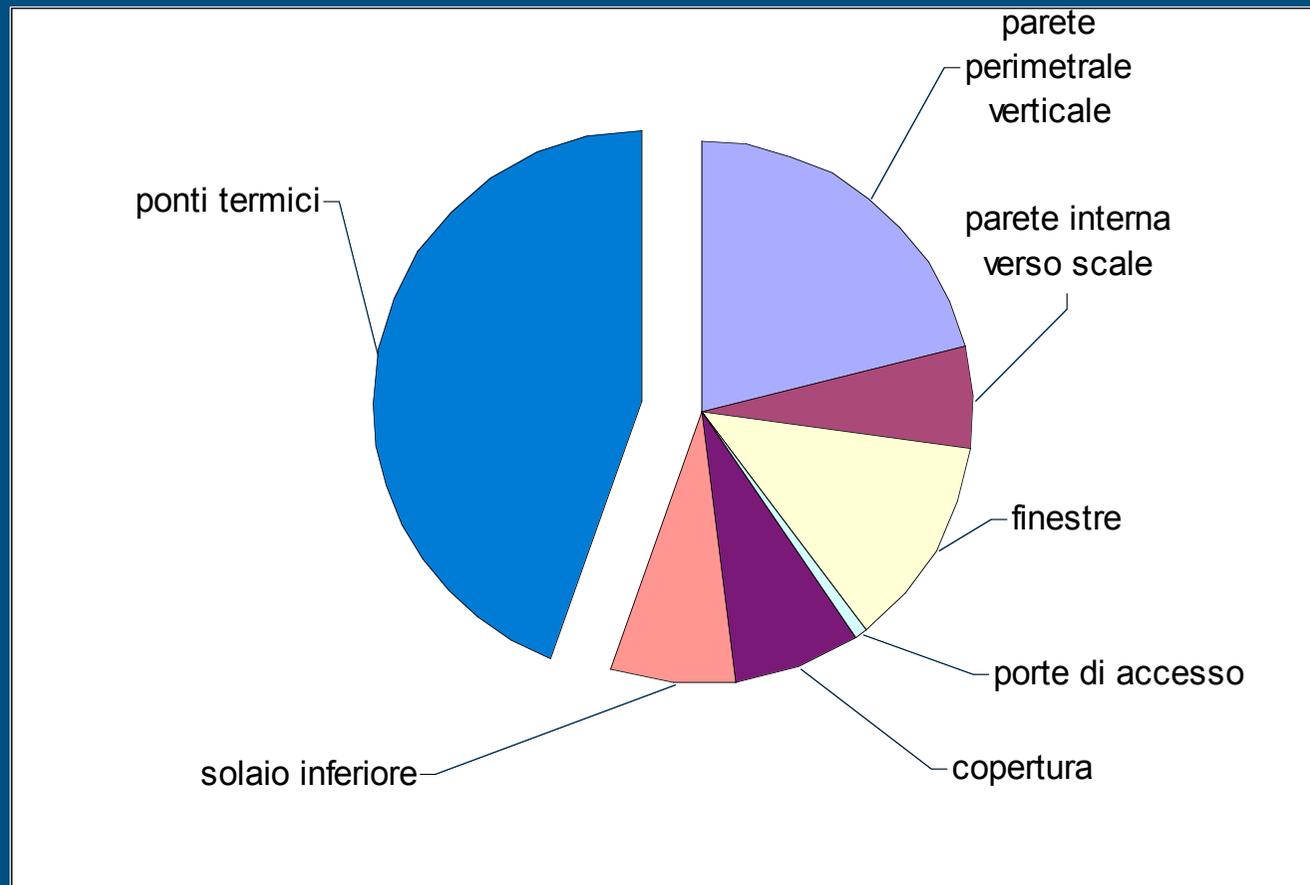
Ponti termici	lungh. (m)	ψ (W/mK)	$b_{tr,x}$ (-)	$H_{t, Pt}$ (W/K)
Parete-solaio vs. esterno	126.2	0.95	1.0	119.9
Parete-solaio vs. scala	28.2	0.95	0.5	13.4
Parete-copertura	63.1	0.50	1.0	31.55
Parete-solaio inferiore	63.1	0.50	1.0	31.55
Vano scala-copertura	14.1	0.5	0.5	3.5
Vano scala-solaio inf.	14.1	0.5	0.5	3.5
Pilastrini in parete perim.	74.1	1.20	1.0	88.9
Pilastrini d'angolo vs.est.	55.6	0.30	1.0	16.68
Pilastrini d'angolo vs.int.	18.5	0.60	0.5	5.55
Serramenti	172.8	1.00	1.0	172.8
Totale ponti termici	629,8			487.4



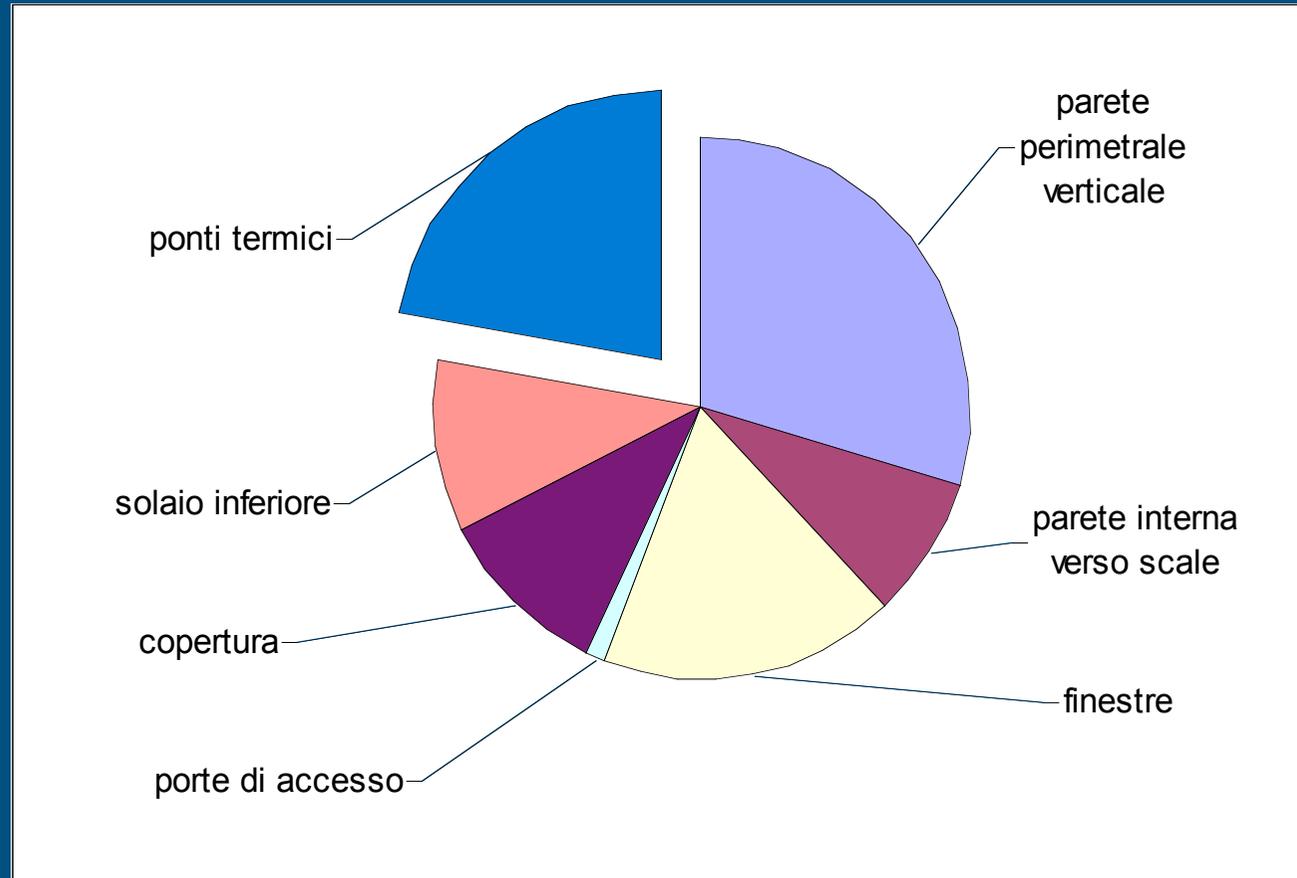
Dispersioni	$H_{t, Pt}$ (W/K)
Chiusure perimetrali	491.7
Ponti termici	487.4

$$\Psi_{e \text{ medio}} = 0.8 \text{ [W/mK]}$$

... se miglioriamo il controllo dei ponti termici, imponendo per esempio che $\psi_e = 0.60 \text{ W/mK}$):



... Il grafico che segue è calcolato per $\psi = 0.25 \text{ W/mK}$:



$$\bar{U} = \frac{\sum U_i \cdot S_i}{\sum S_i}$$

$$\bar{\psi} = \frac{\sum \psi_i \cdot L_i}{\sum L_i}$$

$$\frac{H_g}{V_{tot}} = 0,34 \cdot \frac{V_i}{V_{tot}} \cdot n + \left(\bar{U} + \bar{\psi} \cdot \frac{L_{tot}}{S_{tot}} \right) \cdot \frac{S_{tot}}{V_{tot}}$$

$$S_{tot} / V_{tot}$$

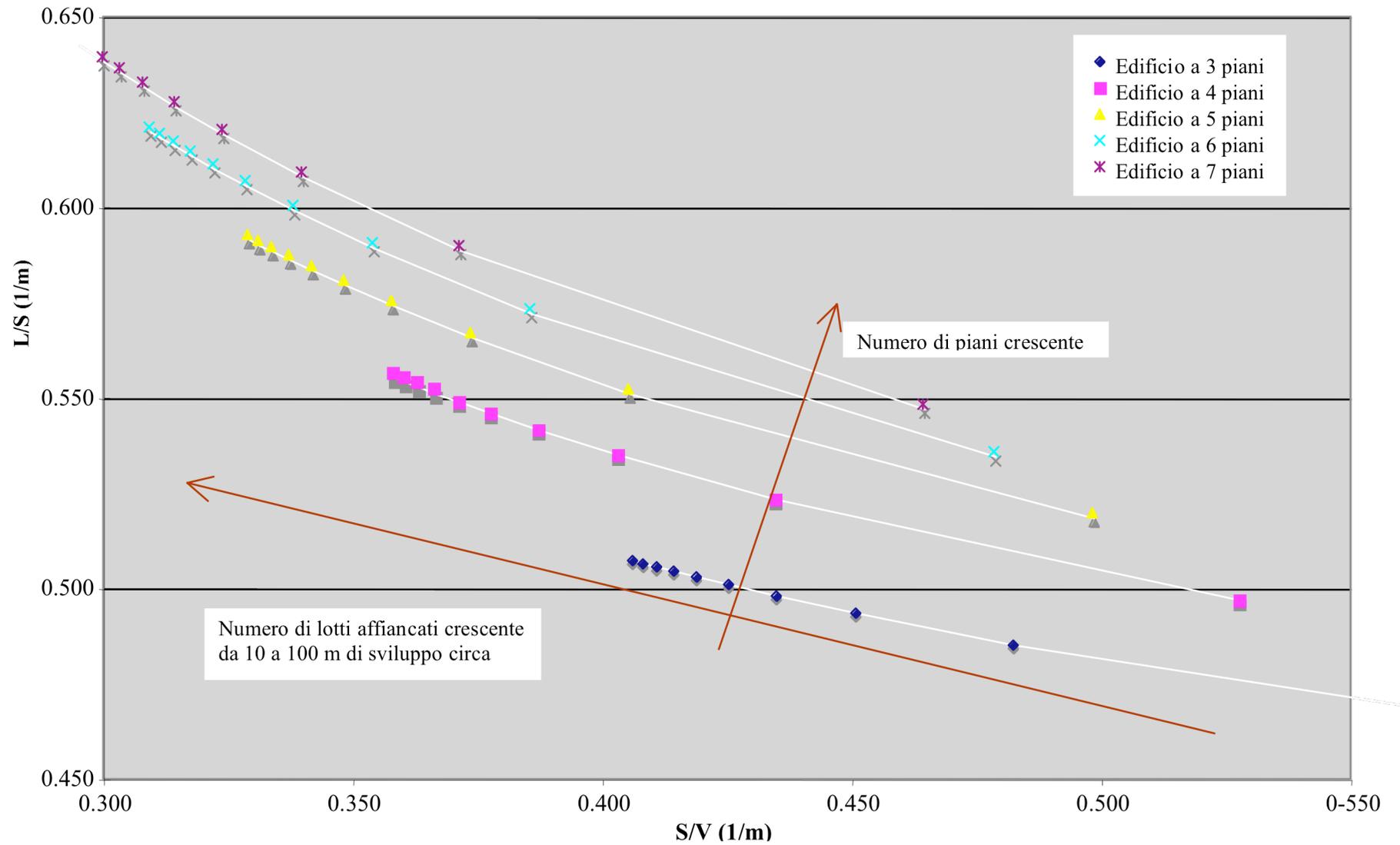
: rapporto superficie/volume (lordi) (m⁻¹)

$$V_i / V_{tot} = (1 - \kappa)$$

: porzione di volume netta interna (-): si tratta di un parametro che varia in funzione della tecnologia adottata

$$L_{tot} / S_{tot}$$

: estensione dei punti singolari sull'involucro, rapportata alla superficie totale (m⁻¹), che chiameremo "rapporto lunghezza/superficie"



- se \overline{U} non è superiore a 1,0 W/m²K (edificio isolato anni '90), è sufficiente che ψ medio sia intorno a 0,20 W/mK perché l'incremento complessivo dei disperdimenti per trasmissione sia inferiore al 10%. In questo caso l'influenza della ventilazione è piccola ...
- se \overline{U} è molto basso (0,5 W/m²K è la media di un edificio "un po' meglio della norma" attuale), ψ deve essere inferiore a 0,08 W/mK, per garantire lo stesso obiettivo. In questo caso la ventilazione influisce leggermente e basta uno 0,10 W/Km per contenere l'incremento dei disperdimenti totali entro il 10%
- se \overline{U} è dell'ordine di grandezza di 0,25 W/m²K (casa passiva), allora ψ deve essere contenuto entro valori inferiori a 0,05 W/mK (ma dei disperdimenti totali sarà circa il 5%, perché la ventilazione non meccanizzata e senza scambiatore incide quasi del 50% sul totale)

Nel caso di sistemi isolati ($U < 1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$), le eterogeneità dell'involucro possono avere un peso molto grande sui disperdimenti, se non controllate e, per edifici "normali", per i ponti termici lineari, che sono i più diffusi, si potrebbe classificare i dettagli in funzione della trasmittanza lineare che li caratterizza:

- dettagli "non controllati": $\psi_e = 0,50 \div 1,20 \text{ (W/mK)}$ (dovrebbero essere "**vietati**") e di fatto lo sarebbero se si facessero i conti!

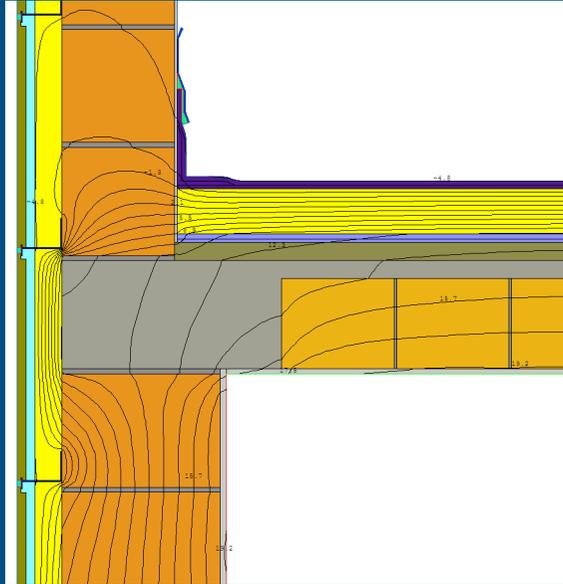
- dettagli "mediamente-scarsamente controllati":
 $\psi_e = 0,20 \div 0,50 \text{ (W/mK)}$

PRATICAMENTE OBBLIGATORI PER EVITARE CONDENSA

- dettagli "controllati": $\psi_e < 0,20 \text{ (W/mK)}$
una specie di **CLASSE B** dei dettagli costruttivi
- dettagli "da casa passiva": $0,05 \text{ (W/mK)}$
la **CLASSE A** dei dettagli costruttivi
- $\psi_e < 0,01$: la **CLASSE A+**

Il valore corretto della trasmittanza termica lineare dei ponti termici varia al variare della trasmittanza termica dell'elemento considerato. Abbiamo valutato l'andamento di tale valore, per alcuni dettagli costruttivi semplici, ipotizzando che una singolarità dovuta alla presenza di un elemento strutturale non venga corretta e che la restante parte della parete sia al isolata con un materiale ideale omogeneo, di spessore costante e conduttività variabile, tra 0.05 e 1 W/mK.

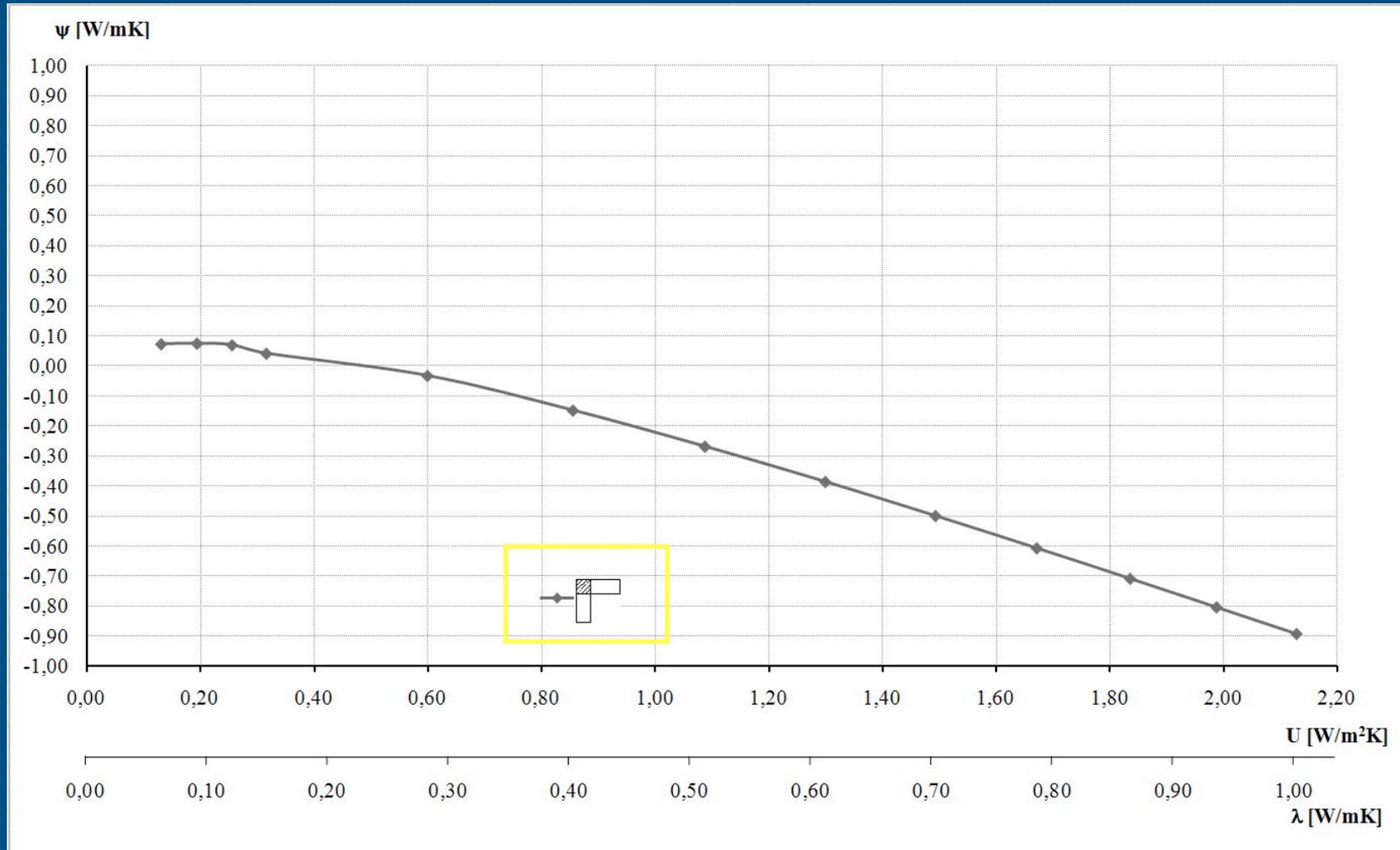
- La trasmittanza termica piana della parete della parete compresa tra va da 1 e 2.1 W/m²K
- Il valore del coefficiente di correzione varia anche in maniera significativa anche se, per pareti e coperture caratterizzate da trasmittanza intorno a 0,4 W/mqK, i risultati sono abbastanza coerenti con quelli “semplificati” della norma ISO 14683



Ha senso?

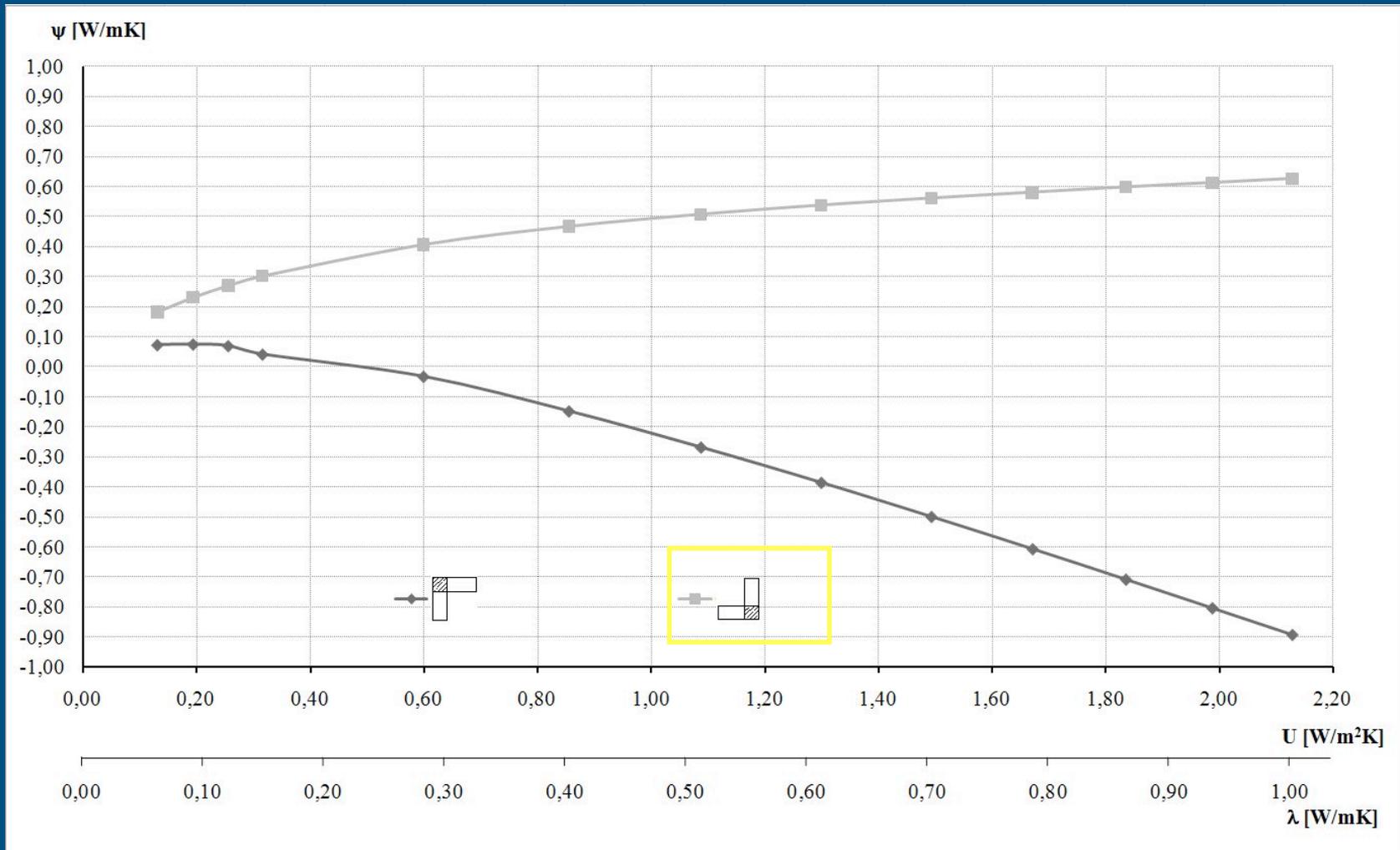
- In fase di **predimensionamento** (progettazione di massima) non serve, bastano i coefficienti della ISO 14683
- In fase di verifica finale (**certificazione**) può aver SENSO, soprattutto se i dettagli sono male isolati: la norma ISO 14683 è molto a favore di sicurezza per casi non drammaticamente sconci
- In fase di **messa a punto di una soluzione tecnica** è FONDAMENTALE

Pilastro d'angolo verso l'esterno non isolato (no ISO 14683)



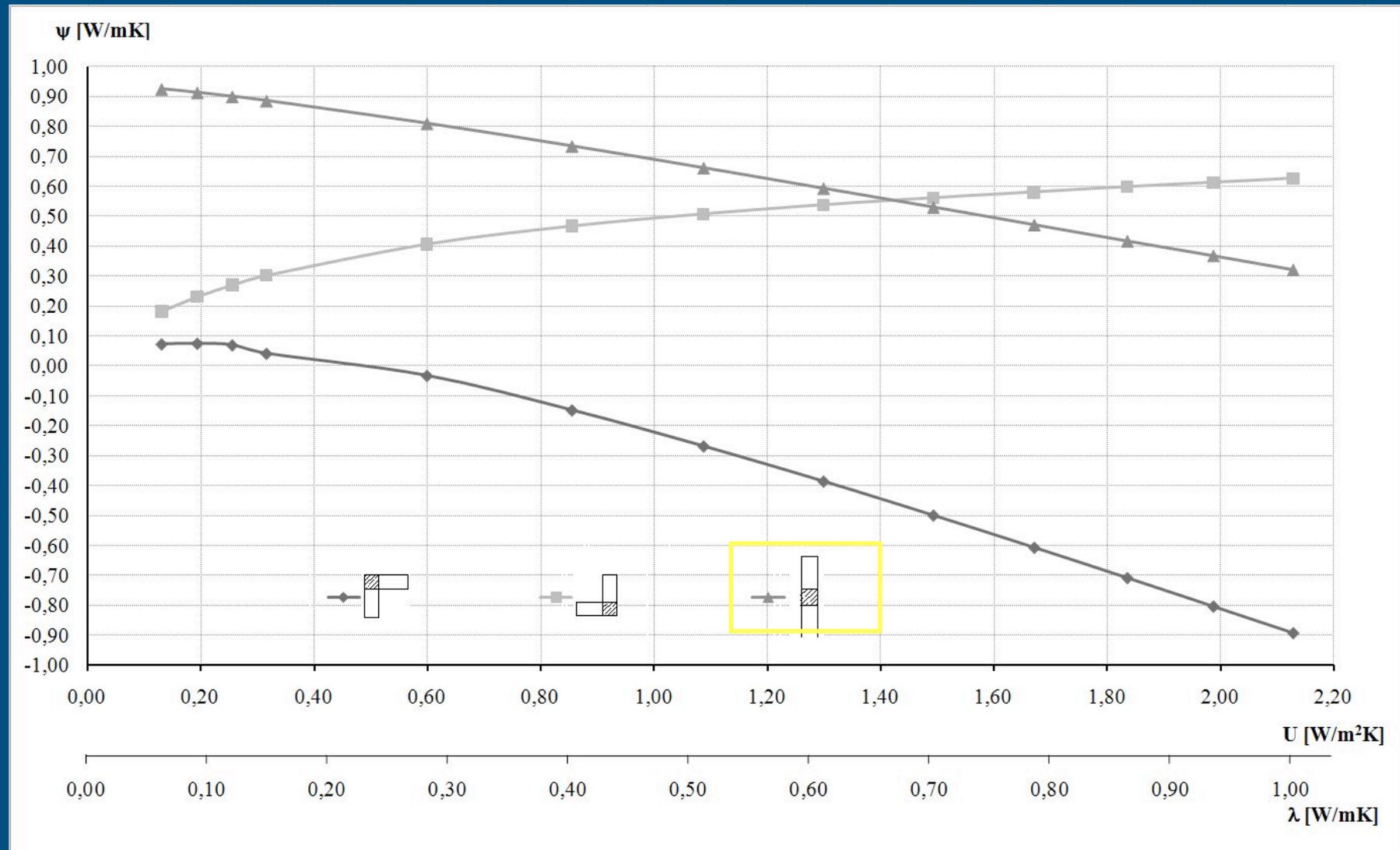
I dettagli costruttivi e le loro prestazioni

Pilastro d'angolo verso l'interno e verso l'esterno isolato



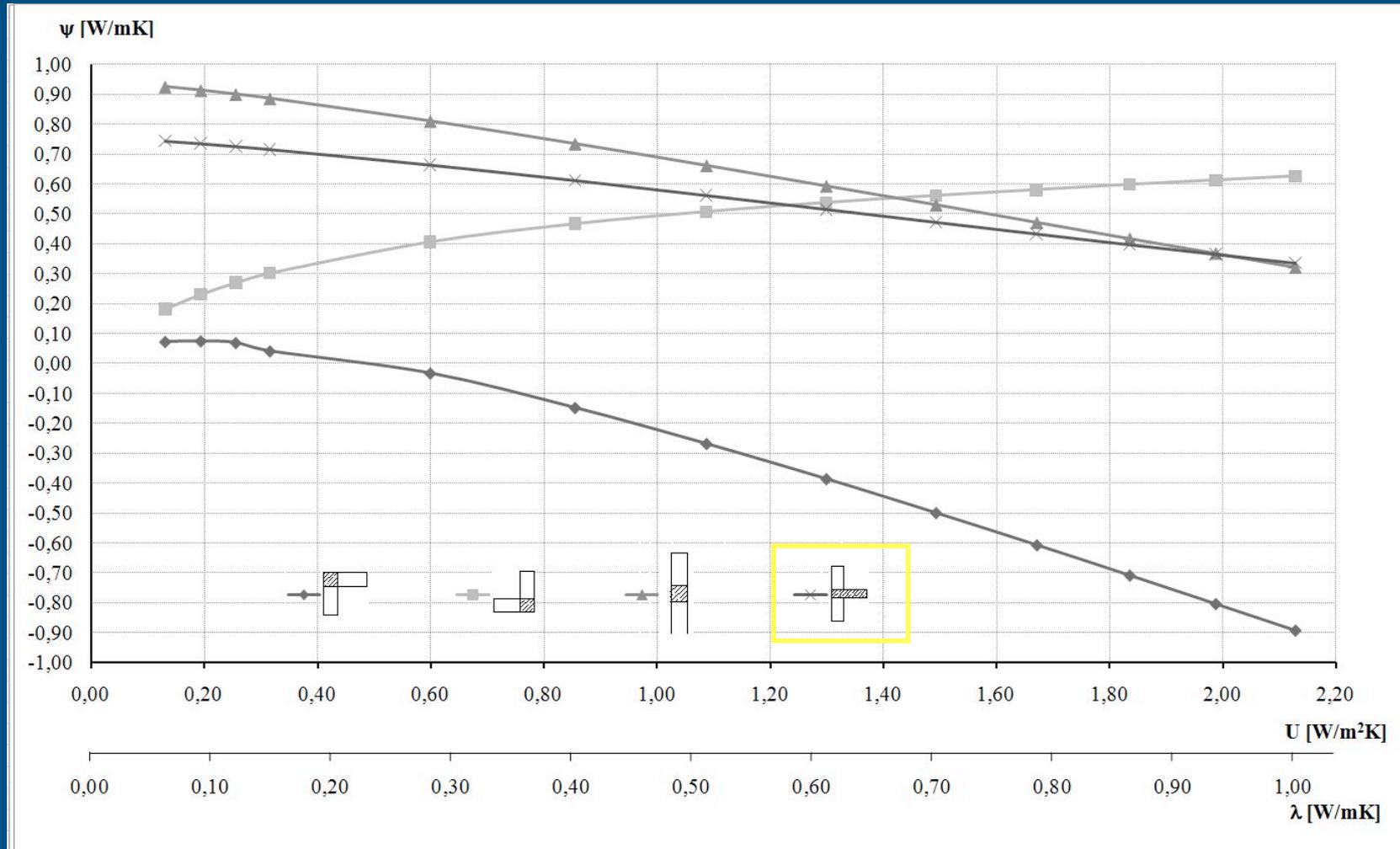
I dettagli costruttivi e le loro prestazioni

Pilastro in sezione corrente



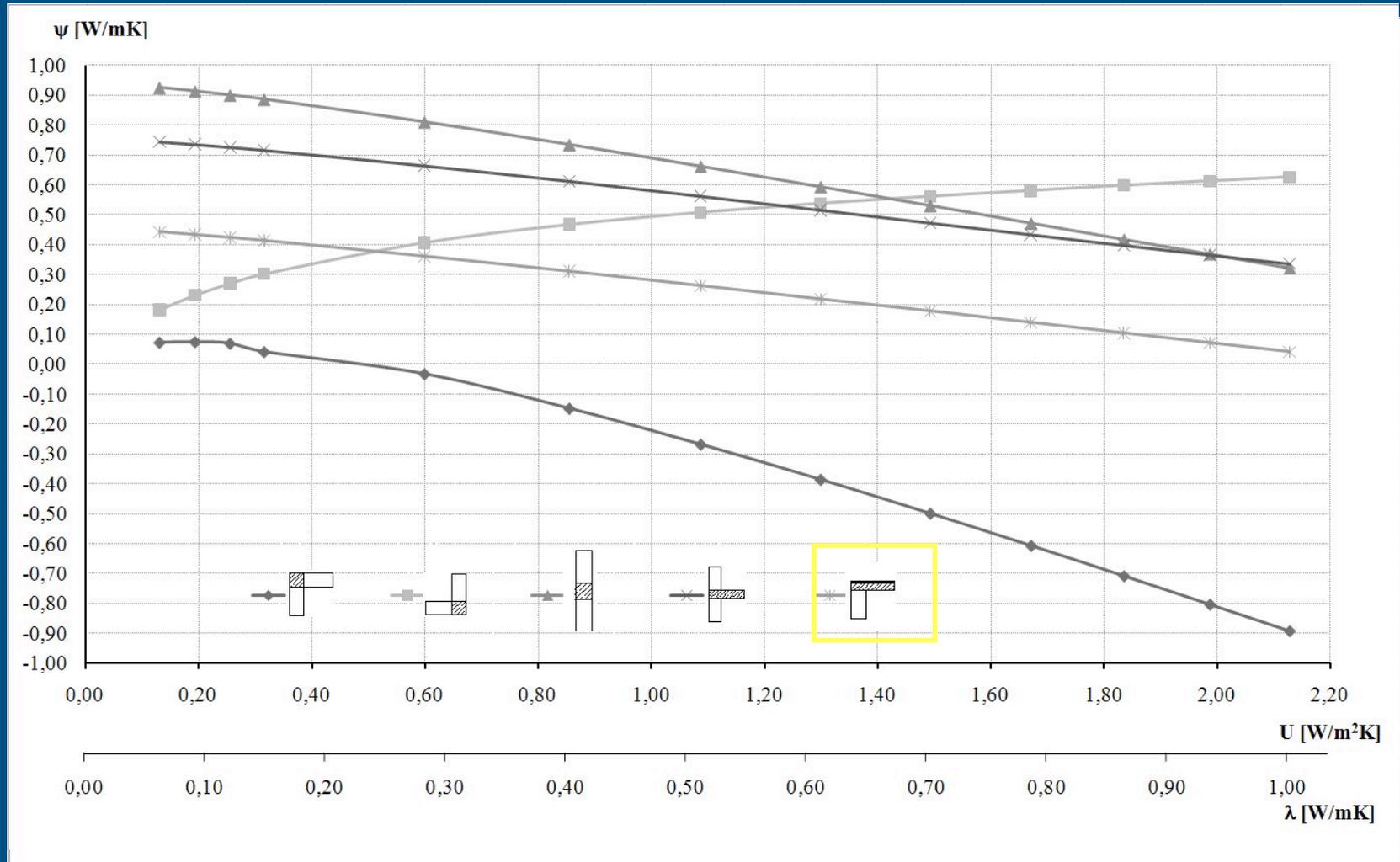
I dettagli costruttivi e le loro prestazioni

soffitto

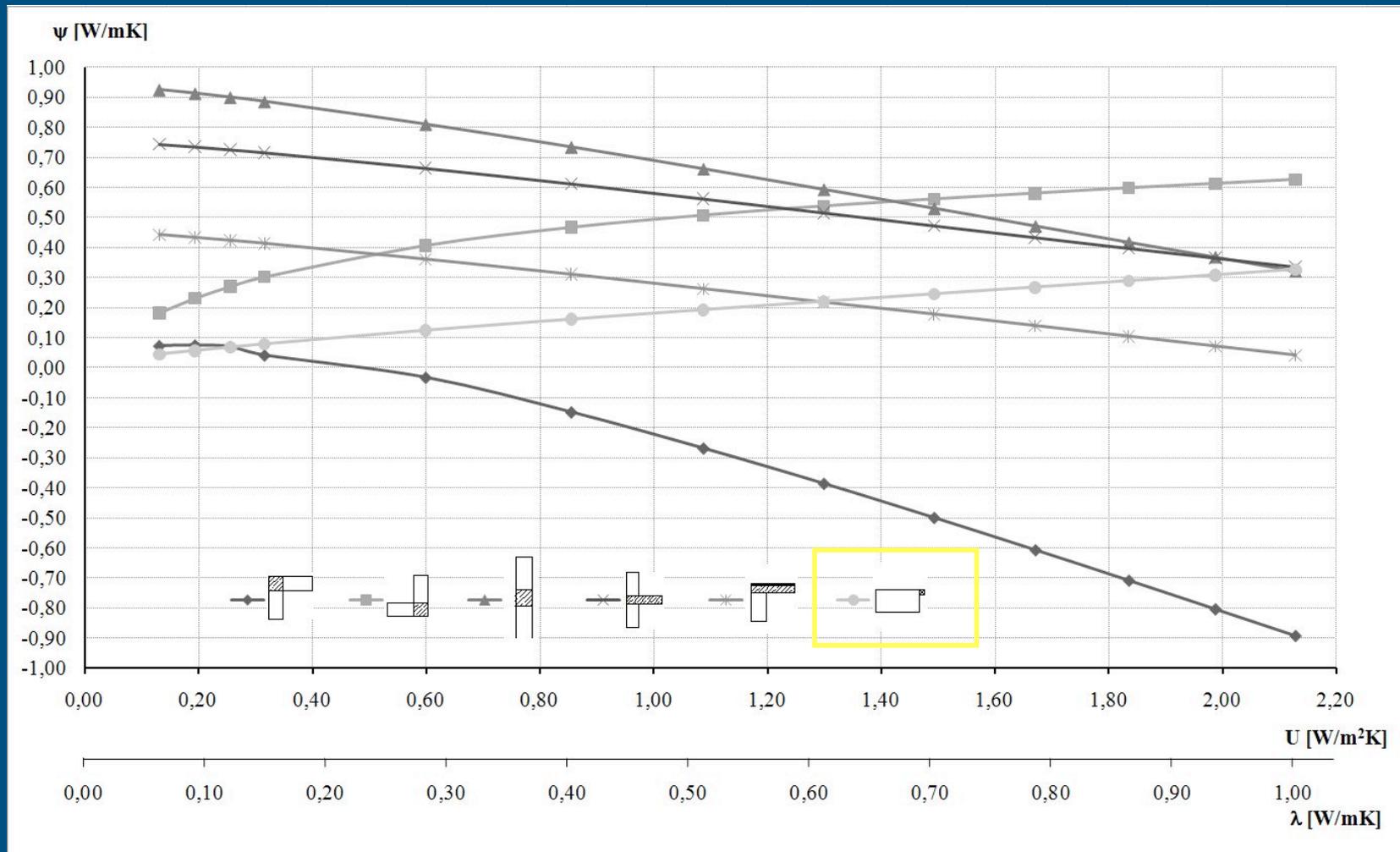


I dettagli costruttivi e le loro prestazioni

Solaio di copertura



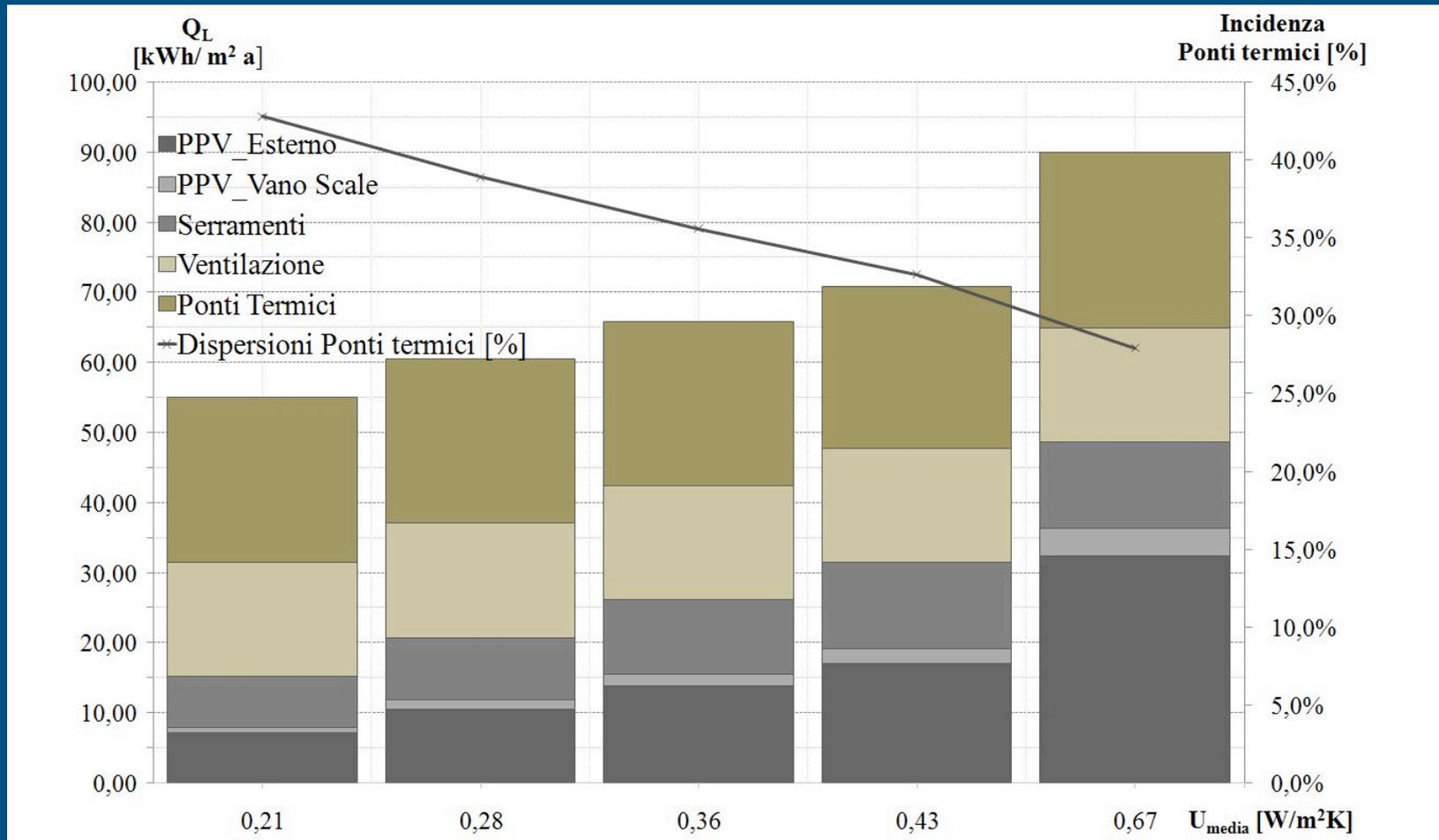
Serramento



Vediamo, per le seguenti cinque configurazioni di involucro opaco (alla stessa trasmittanza) e trasparente, per l'edificio ideale di riferimento, l'andamento dei disperdimenti annui per unità di superficie utile, nel sito climatico Milano (2404 GG ai sensi del DM 412-94).

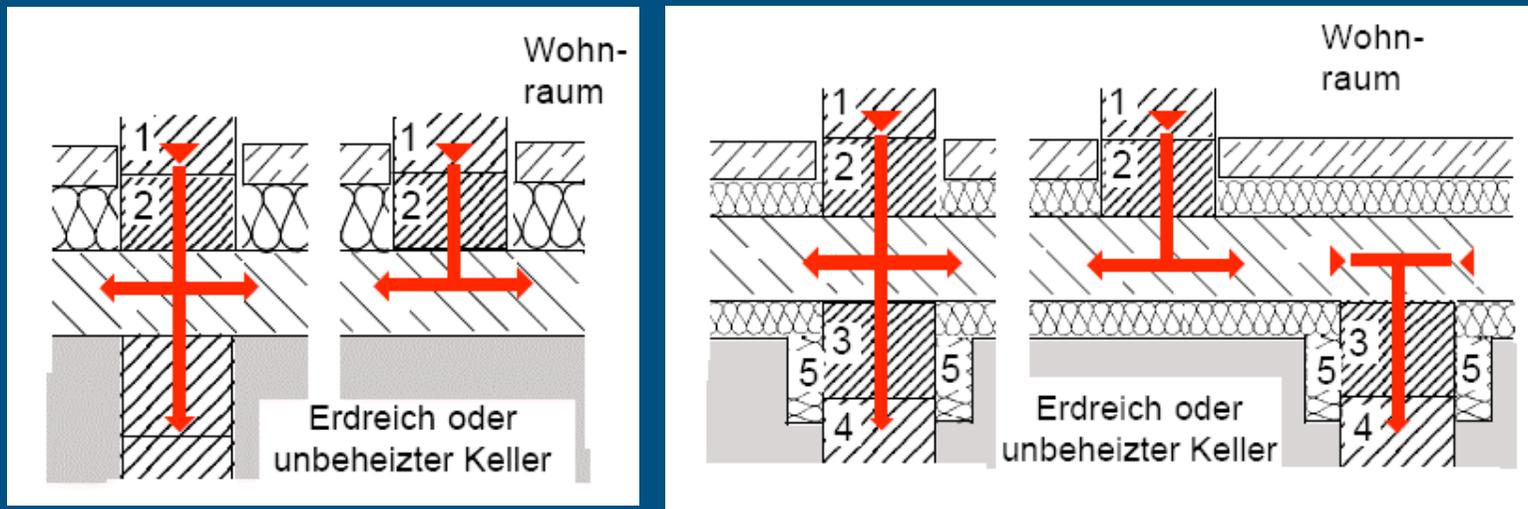
Trasmittanze [W/m²K]	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5
Parete	0.130	0.193	0.255	0.315	0.375
Serramento	1.30	1.60	1.90	2.20	2.20
Media	0.21	0.28	0.36	0.43	0.67

Al variare della configurazione di parete, nell'ipotesi di ponte termico non controllato, per l'edificio esaminato, ventilazione compresa

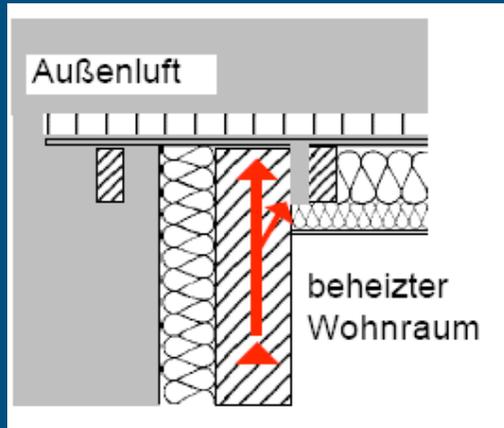


Il progetto edilizio

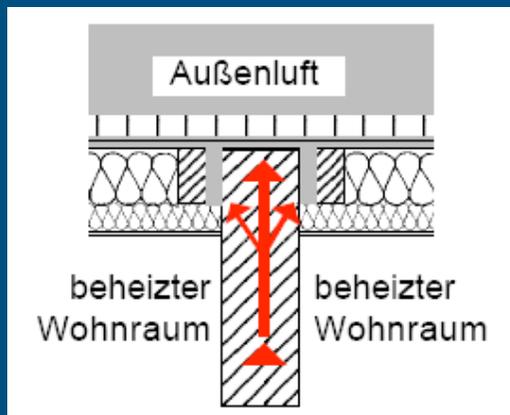
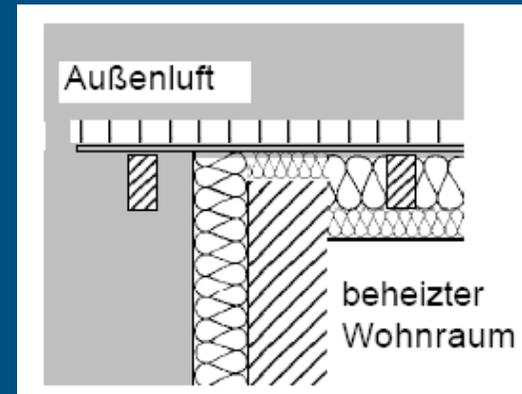
Di solito si basa su analisi “qualitative” dei percorsi (e delle loro lunghezze) dei flussi termici.



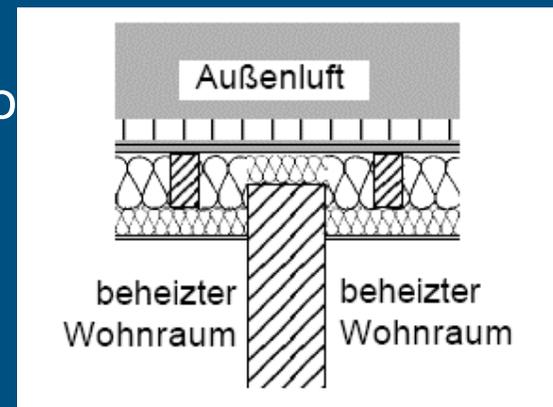
Copertura a falde (struttura in legno)



Attenzione alle pareti perimetrali: devono essere “terminate” termicamente



Ma come loro anche le pareti interne che terminano al di sotto di una copertura



Conclusioni

- I ponti termici non controllati possono avere un incidenza straordinaria sui disperdimenti finali
- Se si vuole contenere entro valori ragionevoli la loro incidenza sui disperdimenti (o sul fabbisogno), è possibile porsi un obiettivo di controllo della trasmittanza termica lineare media dei ponti termici entro valori che dipenderanno dalla trasmittanza termica media dell'involucro e il suo tasso di ventilazione.
- L'utilizzo della norma ISO 14683 è utile per delle verifiche iniziali (progetto preliminare) della fattibilità di una prestazione energetica obiettivo ed è - ovviamente - tanto meno efficace quanto più ci si allontana dalla configurazione di involucro utilizzata per l'abaco che essa contiene.
- L'ottimizzazione di un sistema di involucro edilizio non può non basarsi su analisi "avanzate" delle sue prestazioni energetiche, utilizzando modelli agli elementi finiti dei flussi termici che li attraversano.