

# Corso di Energetica degli Edifici

Docenti:

Prof. Ing. Marco Dell'Isola

Facoltà di Ingegneria

Università degli studi di Cassino

Ing. Fernanda Fuoco

Facoltà di Ingegneria

Università degli studi di Cassino

**Trasferimento di calore attraverso il  
terreno e verso locali non riscaldati**

# Indice

---

- Introduzione: le interazioni termiche tra edificio ed ambiente circostante.
- Il coefficiente di scambio termico per trasmissione verso il terreno,  $H_g$  (la norma UNI 13370):
  - metodo di calcolo della trasmittanza per differenti solai;
  - calcolo della potenza termica trasmessa.
- La UNI 12831 per il calcolo dei coefficienti di scambio termico per trasmissione verso:
  - locali non riscaldati;
  - locali riscaldati a temperatura differente.

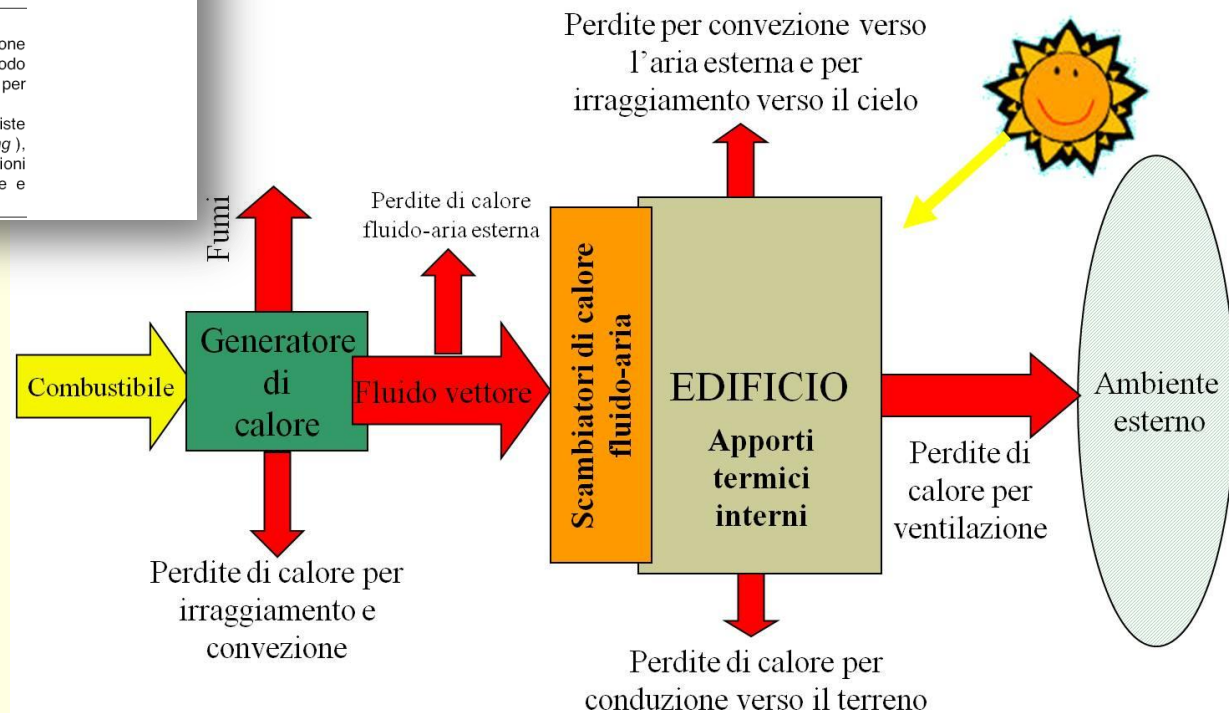
# Intro: le interazioni termiche tra edificio ed ambiente circostante (UNI/TS 11300-1)

- La UNI/TS-11300-1 fornisce la procedura per il calcolo dei fabbisogni di energia termica per riscaldamento e raffrescamento per ogni zona dell'edificio e per ogni mese:

SPECIFICA TECNICA	Prestazioni energetiche degli edifici <b>Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale</b>	UNI/TS 11300-1
	Energy performance of buildings Part 1: Evaluation of energy need for space heating and cooling	MAGGIO 2008

La specifica tecnica definisce le modalità per l'applicazione nazionale della UNI EN ISO 13790:2008 con riferimento al metodo mensile per il calcolo dei fabbisogni di energia termica per riscaldamento e per raffrescamento.

La specifica tecnica è rivolta a tutte le possibili applicazioni previste dalla UNI EN ISO 13790:2008: calcolo di progetto (*design rating*), valutazione energetica di edifici attraverso il calcolo in condizioni standard (*asset rating*) o in particolari condizioni climatiche e d'esercizio (*tailored rating*).



# Intro: le interazioni termiche tra edificio ed ambiente circostante (UNI/TS 11300-1)

- La UNI/TS-11300-1 fornisce la procedura per il calcolo dei fabbisogni di energia termica per riscaldamento e raffrescamento per ogni zona dell'edificio e per ogni mese:

$$Q_{H,nd} = Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} \times Q_{gn} = (Q_{H,tr} + Q_{H,ve}) - \eta_{H,gn} \times (Q_{int} + Q_{sol})$$
$$Q_{C,nd} = Q_{gn} - \eta_{C,ls} \times Q_{C,ht} = (Q_{int} + Q_{sol}) - \eta_{C,ls} \times (Q_{C,tr} + Q_{C,ve})$$

$Q_{H,nd}$  è il fabbisogno ideale di energia termica dell'edificio per riscaldamento;

$Q_{C,nd}$  è il fabbisogno ideale di energia termica dell'edificio per raffrescamento;

$Q_{H,ht}$  è lo scambio termico totale nel caso di riscaldamento;

$Q_{C,ht}$  è lo scambio termico totale nel caso di raffrescamento;

$Q_{H,tr}$  è lo scambio termico per trasmissione nel caso di riscaldamento;

$Q_{C,tr}$  è lo scambio termico per trasmissione nel caso di raffrescamento;

$Q_{H,ve}$  è lo scambio termico per ventilazione nel caso di riscaldamento;

$Q_{C,ve}$  è lo scambio termico per ventilazione nel caso di raffrescamento;

$Q_{gn}$  sono gli apporti termici totali;

$Q_{int}$  sono gli apporti termici interni;

$Q_{sol}$  sono gli apporti termici solari;

$\eta_{H,gn}$  è il fattore di utilizzazione degli apporti termici;

$\eta_{C,ls}$  è il fattore di utilizzazione delle dispersioni termiche.

# Intro: il calcolo degli scambi termici

(UNI/TS 11300-1)

Per ogni zona dell'edificio e per ogni mese, gli scambi termici per trasmissione si calcolano come:

## -Riscaldamento

$$Q_{H,tr} = H_{tr,adj} \times (\theta_{int,set,H} - \theta_e) \times t + \left\{ \sum_k F_{r,k} \Phi_{r,mn,k} \right\} \times t$$

la temperatura interna di regolazione per il riscaldamento della zona Considerata [°C]

temperatura media mensile dell'ambiente esterno [°C]

Tempo considerato (base mensile [h])

coefficiente globale di scambio termico per trasmissione della zona considerata [W/°C]

il fattore di forma tra il componente edilizio k-esimo e la volta celeste

è l'extra flusso termico dovuto alla radiazione infrarossa verso la volta celeste dal componente edilizio k-esimo, mediato sul tempo

## -Raffrescamento

$$Q_{C,tr} = H_{tr,adj} \times (\theta_{int,set,C} - \theta_e) \times t + \left\{ \sum_k F_{r,k} \Phi_{r,mn,k} \right\} \times t$$

# I coefficienti di scambio termico per trasmissione, $H$

Il coefficiente globale di scambio termico per trasmissione si valuta come:

coefficiente di scambio termico stazionario per trasmissione verso il **terreno**

coefficiente di scambio termico per trasmissione verso altre zone (interne o meno all'edificio) climatizzate a **temperatura diversa**

$$H_{tr,adj} = H_D + H_g + H_U + H_A$$

coefficiente di scambio termico diretto per trasmissione verso l'ambiente esterno;

coefficiente di scambio termico per trasmissione attraverso gli ambienti **non climatizzati**

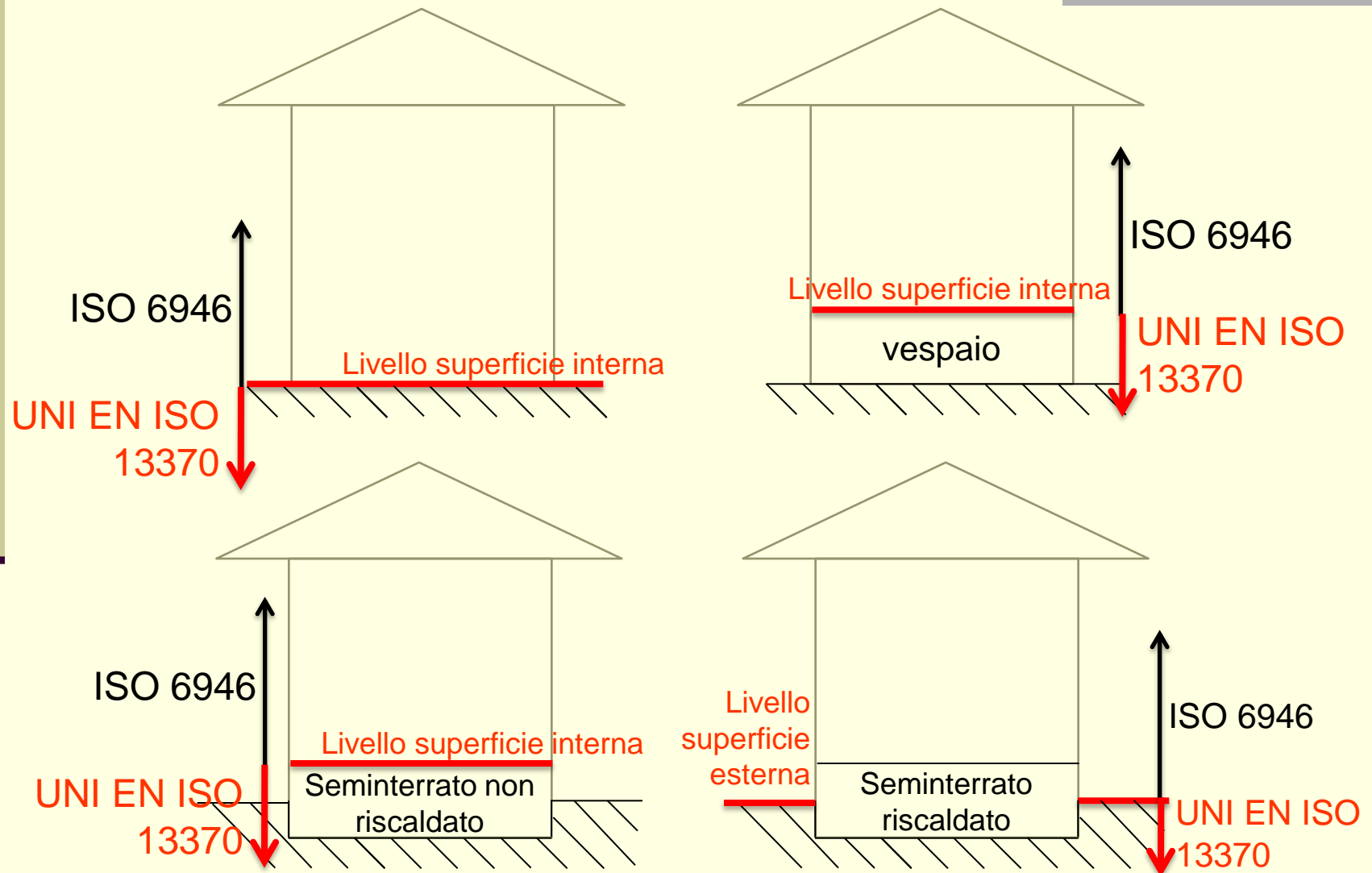
# Il coefficiente di scambio termico per trasmissione verso il terreno, $H_g$

NORMA EUROPEA	Prestazione termica degli edifici Trasferimento di calore attraverso il terreno Metodi di calcolo	UNI EN ISO 13370
	Thermal performance of buildings Heat transfer via the ground Calculation methods	MAGGIO 2008

La norma fornisce i metodi di calcolo dei **coefficienti di trasferimento del calore** e dei **flussi termici** degli elementi di edifici in contatto con il terreno, compresi le solette appoggiate al terreno, le solette su vespaio e i piani interrati.

**N.B.** Mentre la ISO 6946 fornisce metodi di calcolo della trasmissione termica degli elementi di edificio in contatto con l'aria esterna, la UNI EN ISO 13370 valuta le dispersioni al di sotto di una **linea di demarcazione** individuata come...

# Campo di applicazione della 13370



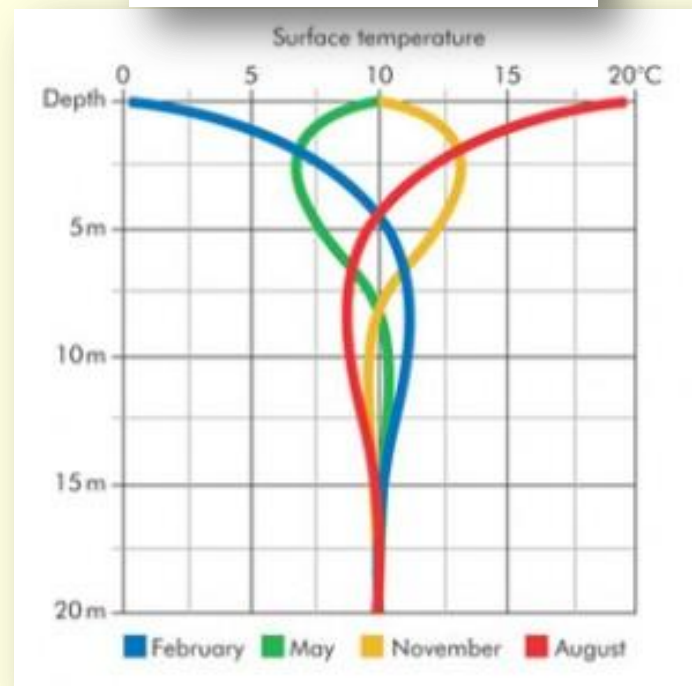
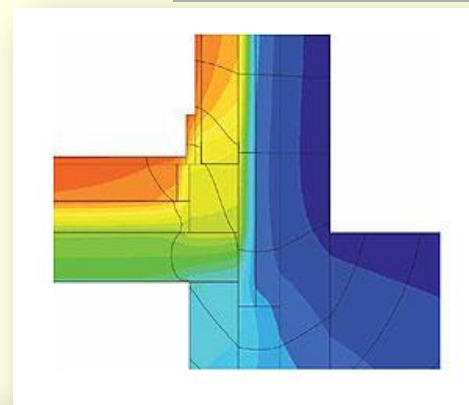


# Campo di applicazione della 13370

- ❑ Nel calcolo del trasferimento del calore di elementi di edifici in contatto con il terreno occorrerà tener conto anche dei **ponti termici** di giunzione solaio-muro perimetrale (*wall/floor junction*).
- ❑ Il computo degli scambi termici verso ambienti esterni viene solitamente effettuato ipotizzando una **differenza di temperatura (interno-esterno) costante**, trascurando, quindi le variazioni giornaliere e stagionali.

Nel caso degli scambi verso il terreno l'ipotesi di **stazionarietà** del flusso termico è una valida approssimazione data l'elevata inerzia termica del terreno.

*PS. nell'appendice della norma è riportato un metodo di calcolo in condizioni non stazionarie!*



# Il metodo di calcolo della UNI 13370

---

Le dispersioni verso il terreno sono dovute a:

- ☐ flussi termici verso il terreno attraverso l'area del solaio;
- ☐ flussi termici relativi al perimetro del solaio (ponti termici);
- ☐ flusso termico attraverso il perimetro del solaio variabile nel corso dell'anno e funzione dell'inerzia termica del terreno.

Le componenti stazionarie possono essere determinate mediante:

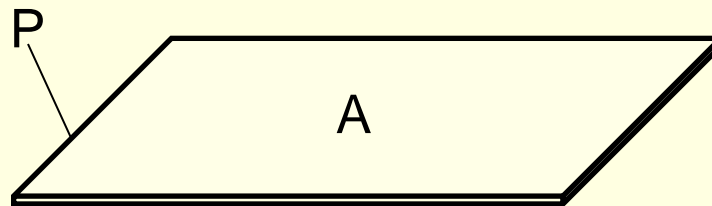
- ☐ Simulazioni numeriche 3D (secondo ISO 10211);
- ☐ Simulazioni numeriche 2D (secondo ISO 10211);
- ☐ *Calcolo delle dispersioni attraverso l'area del solaio secondo formulazioni proposte nella 13370 e dei ponti termici mediante simulazioni 2D;*
- ☐ *Calcolo delle dispersioni attraverso l'area del solaio secondo formulazioni proposte nella 13370 e dei ponti termici mediante valori di default della ISO 14683.*

# Il metodo di calcolo della UNI 13370

Nel caso di...

- Calcolo delle dispersioni attraverso l'area del solaio secondo formulazioni proposte nella 13370 e dei ponti termici mediante simulazioni 2D;
- Calcolo delle dispersioni attraverso l'area del solaio secondo formulazioni proposte nella 13370 e dei ponti termici mediante valori di default della ISO 14683;

$$H_g = AU + P\Psi_g$$



$\Psi_g$ : trasmittanza termica lineare del ponte termico ( $\text{W m}^{-1}\text{K}^{-1}$ )

$U$ : trasmittanza termica del solaio ( $\text{W m}^{-2}\text{K}^{-1}$ )

# Il metodo di calcolo della UNI 13370

Nel calcolo della trasmittanza termica  $U$  occorre conoscere le proprietà termiche del terreno.

Dove non determinate sperimentalmente...

- valori tabellati

**Table 1 — Thermal properties of the ground**

Category	Description	Thermal conductivity	Heat capacity per volume
		$\lambda$ W/(m·K)	$\rho c$ J/(m <sup>3</sup> ·K)
1	clay or silt	1,5	3,0 x 10 <sup>6</sup>
2	sand or gravel	2,0	2,0 x 10 <sup>6</sup>
3	homogeneous rock	3,5	2,0 x 10 <sup>6</sup>

- in altri casi...

$$\lambda = 2,0 \text{ W/(m·K)}$$

$$\rho c = 2,0 \times 10^6 \text{ J/(m}^3\text{·K)}$$

# Il metodo di calcolo della UNI 13370

## Proprietà termiche dei materiali da costruzione:

I valori di resistenza termica di progetto dei materiali sono riportati nella ISO 10456.

*NOTA: La capacità termica dei materiali da costruzione è comunque sempre trascurabile rispetto a quella del terreno!*

## Resistenze termiche superficiali

Riportate nella ISO 6946...

N.B. si applica  $R_{si}$  sopra e sotto il solaio!!!

## Resistenze termiche superficiali (in $\text{m}^2 \times \text{K/W}$ )

	Direzione del flusso termico		
	Ascendente	Orizzontale	Discendente
$R_{si}$	0,10	0,13	0,17
$R_{se}$	0,04	0,04	0,04

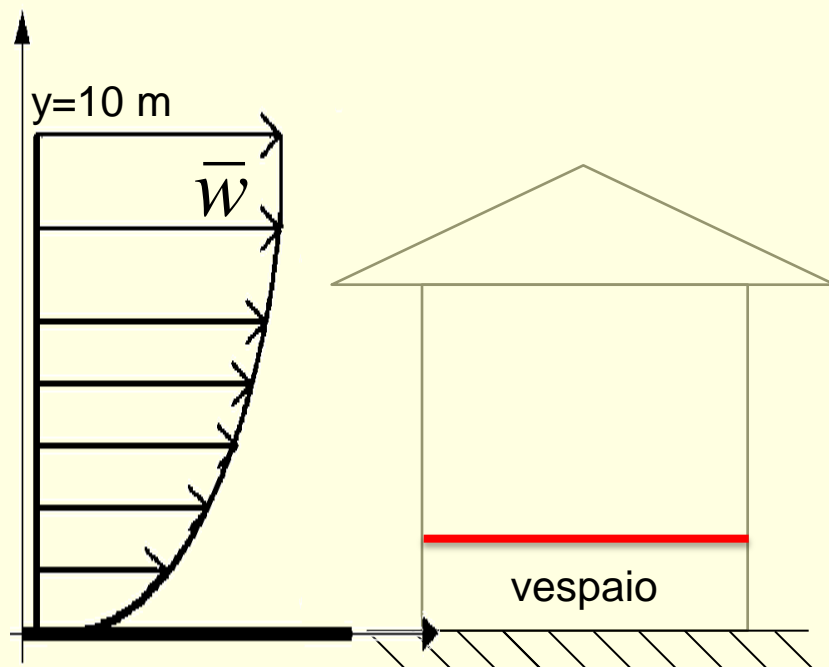
# Il metodo di calcolo della UNI 13370

## Temperature interne:

Se le stanze che insistono sul solaio sono a temperature differenti occorre calcolare una temperatura pesata sulle aree delle singole stanze.

## Dati climatici

- È richiesto il valor medio annuale della **temperatura esterna**;
- *Se si desidera valutare la **variazione del flusso termico** nell'arco dell'anno per effetto della variazione della temperatura esterna occorre conoscere l'ampiezza della variazione della temperatura rispetto al valor medio annuale.*
- Per **piani sospesi (su vespaio) ventilati in maniera naturale** occorre tener conto dello scambio termico convettivo funzione della velocità media del vento misurata a 10 m sopra il terreno.

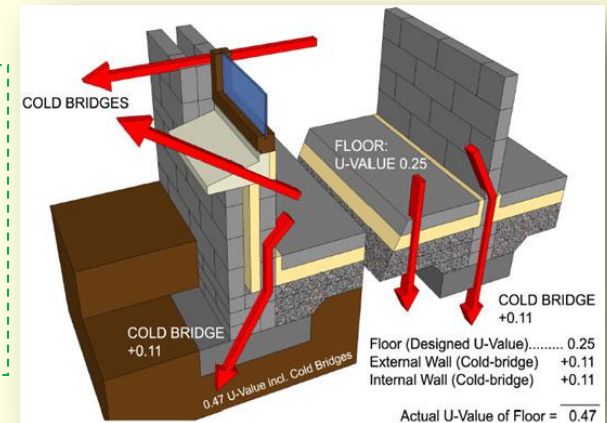


N.B. Qualora si conoscesse la  $T$  superficiale del terreno potrebbe essere considerata quest'ultima nei calcoli di dispersioni termiche.

# Il metodo di calcolo della UNI 13370

Il calcolo delle trasmittanze termiche è proposto nella UNI 13370 in funzione di diverse tipologie di solaio e seminterrato e/o di isolamento.

Le formule proposte sono state ricavate per il solaio indipendentemente dalle **interazioni solaio-muro** e considerando proprietà termofisiche uniformi per il terreno: occorre valutare separatamente gli effetti di ponte termico applicando opportuni  $\Psi_g$ .



**N.B.** Nel calcolo dello scambio termico non sono tenuti in considerazione gli effetti dell'**acqua** nel terreno. Tale effetto, infatti, trascurabile a meno che la portata d'acqua non sia elevata ed ad una profondità minima rispetto al terreno.

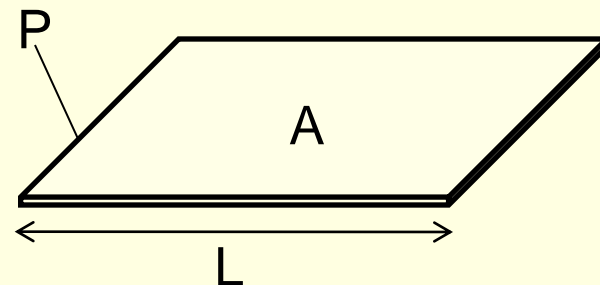
*La potenza termica dispersa può essere valutata su base annuale con l'ipotesi di coefficienti di scambio termico stazionari.*

❑ *Nel caso si voglia tener conto di variazioni stagionali o mensili del flusso termico occorre tener conto dell'inerzia termica del terreno (Appendice A della UNI 13370).*

# Calcolo della trasmittanza

## Parametri dimensionali utilizzati nei calcoli della $U$

- dimensione caratteristica ( $B'$ )  $B' = \frac{A}{0,5 P}$



→ In generale  $P$  è il “perimetro esposto” del solaio: la lunghezza totale di muri esterni che dividono l’edificio riscaldato dall’ambiente esterno o da uno spazio non riscaldato adiacente. Pertanto:

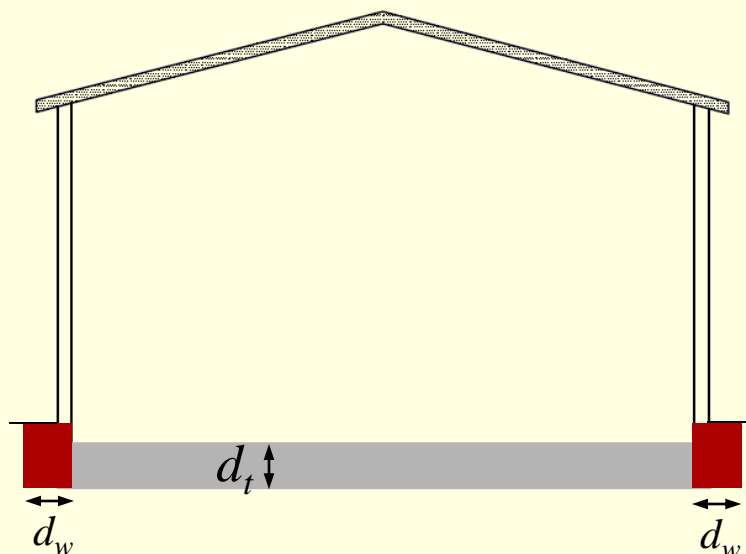
- per l’intero edificio  $P$  è il perimetro totale dell’edificio e  $A$  la superficie totale del terreno;
- per una frazione di edificio  $P$  include i muri esterni che separano lo spazio riscaldato dall’ambiente esterno ma *esclude* i muri che separano tale parte da altre parti riscaldate dell’edificio;  $A$  è la superficie del solaio della parte in considerazione;
- gli spazi non riscaldati posti al di là dell’isolamento degli edifici (garage...) sono esclusi dal calcolo di  $P$  e  $A$ .



# Calcolo della trasmittanza

## Parametri dimensionali utilizzati nei calcoli della $U$

- Spessore equivalente per il solaio ( $d_t$ ): spessore del terreno che ha la stessa resistenza termica del solaio (ingloba il solaio nel terreno);
- Spessore equivalente per muri di seminterrati ( $d_w$ ): spessore del terreno che ha la stessa resistenza termica dei muri che scambiano con il terreno (ingloba i muri del seminterrato nel terreno)



# Calcolo della trasmittanza

## Soletta su terreno

Include soletta isolata (sopra, sotto o nel mezzo della soletta) o non isolata...

$$d_t = w + \lambda (R_{si} + R_f + R_{se})$$

Resistenza della soletta ( $\text{m}^2 \text{K/W}$ )

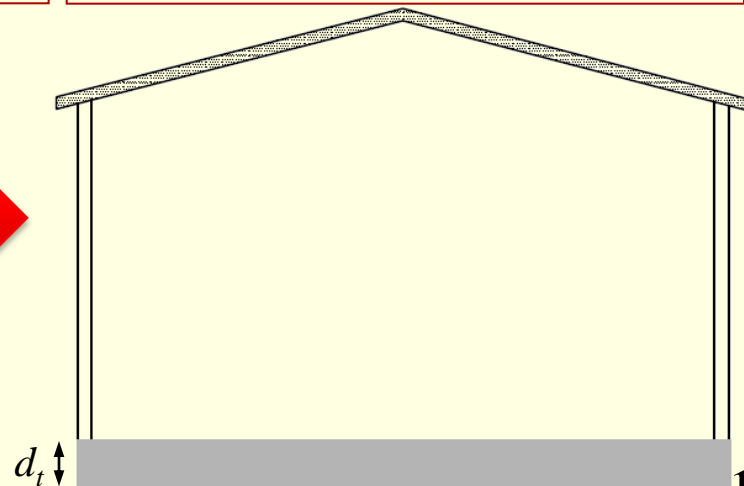
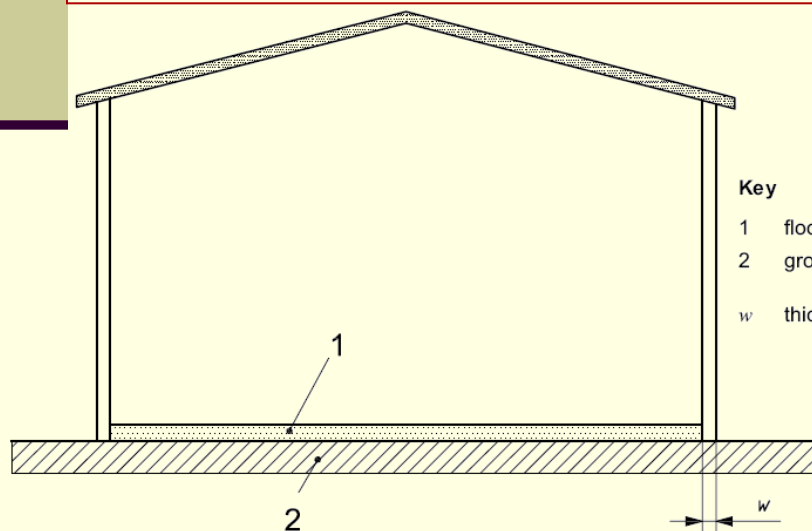
*Tale trasmittanza è valutata al netto dell'interazione solaio-muro*

If  $d_t < B'$  (uninsulated and moderately insulated floors),

$$U = \frac{2\lambda}{\pi B' + d_t} \ln \left( \frac{\pi B'}{d_t} + 1 \right)$$

If  $d_t \geq B'$  (well-insulated floors),

$$U = \frac{\lambda}{0,457 \times B' + d_t}$$



# Calcolo della trasmittanza

## solaio sospeso (su vespaio)

Formule da applicare nel caso di ventilazione naturale

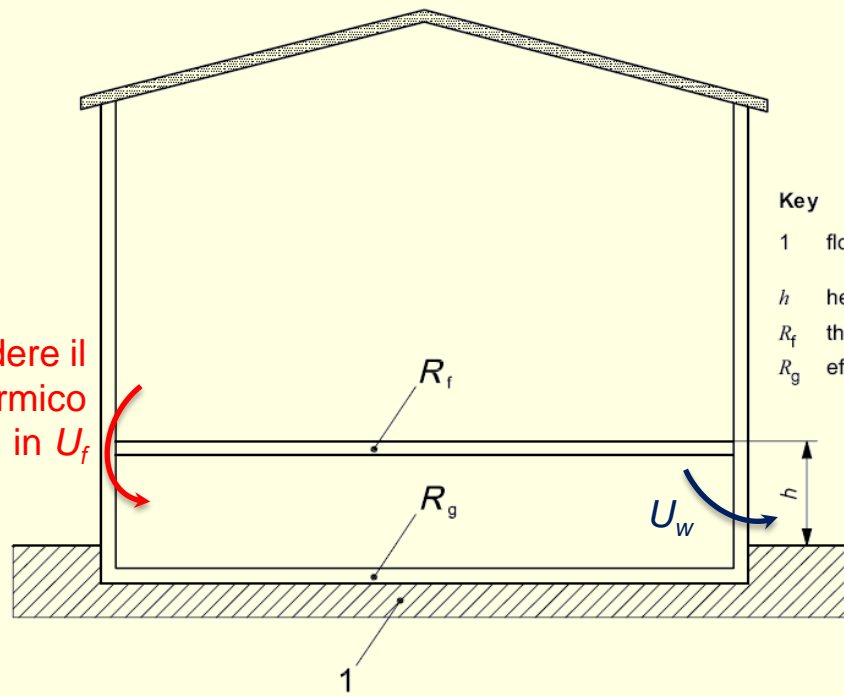
*È una serie tra la resistenza del solaio e quella del parallelo conduttivo/convettivo nel vespaio!!!*

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{U_f} + \frac{1}{U_g + U_x}$$

Trasmittanza termica del solaio sospeso

Trasmittanza termica equivalente tra lo spazio sotto il solaio (vespaio) e l'ambiente esterno. Comprende il contributo conduttivo (scambio attraverso le pareti) e convettivo (ventilazione con aria esterna del vespaio).

da includere il ponte termico in  $U_f$



Key

1 floor slab

$h$  height of floor surface above outside ground level

$R_f$  thermal resistance of floor construction

$R_g$  effective thermal resistance of ground

# Calcolo della trasmittanza

(UNI ISO 13370)

## solaio sospeso (su vespaio)

...il contributo  $U_g$  si determina mediante...

$$d_g = w + \lambda (R_{si} + R_g + R_{se})$$

**R<sub>g</sub>** è la resistenza termica di isolamenti sul fondo dell'intercapedine m<sup>2</sup> K/W.

$$U_g = \frac{2\lambda}{\pi B' + d_g} \ln \left( \frac{\pi B'}{d_g} + 1 \right)$$

If the underfloor space extends to an average depth of more than 0,5 m below ground level,  $U_g$  should be calculated according to Equation (E.2).

If edge insulation is applied around the base of the underfloor space,  $U_g$  should be modified according to Equation (B.3).

...il contributo  $U_x$  si calcola come...

$$U_x = 2 \times \frac{h U_w}{B'} + 1450 \times \frac{\varepsilon v f_w}{B'}$$

**h** è l'altezza della superficie superiore del pavimento sopra il livello del terreno esterno, in m

**U<sub>w</sub>** è la trasmittanza termica delle pareti dell'intercapedine sopra il livello del terreno esterno, in W/(m<sup>2</sup> · K), calcolata secondo EN ISO 6946

**ε** è l'area delle aperture di ventilazione per unità di lunghezza di perimetro dell'intercapedine,

**v** è la velocità media del vento a 10 m di altezza, in m/s;

**f<sub>w</sub>** è il coefficiente di schermatura dal vento.

Valori del coefficiente di schermatura dal vento  $f_w$

Localizzazione	Esempio	Coefficiente di schermatura dal vento $f_w$
Sito riparato	Centro città	0,02
Sito mediamente esposto	Periferia	0,05
Sito esposto	Rurale	0,10

# Calcolo della trasmittanza

## Seminterrato riscaldato

È simile al caso “soletta al livello del suolo” ma occorre aggiungere la “profondità del terreno al di sotto del livello del terreno,  $z$ ”.

N.B. Occorre, inoltre, valutare se è stato utilizzato un differente isolamento per muri e solaio!!!

### □ basement floor ( $U_{bf}$ )

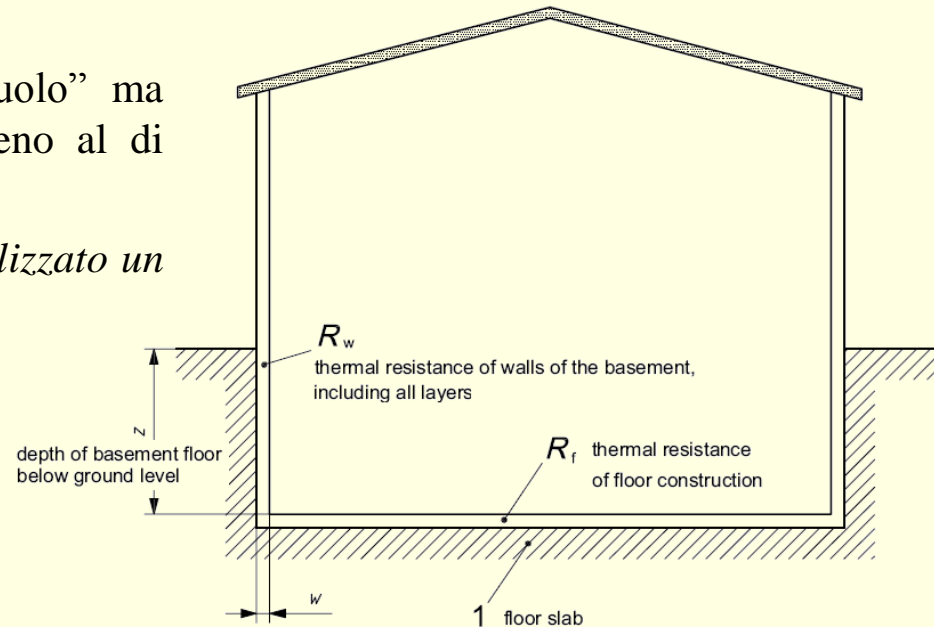
$$d_t = w + \lambda(R_{si} + R_f + R_{se})$$

If  $(d_t + 0,5z) < B'$  (uninsulated and moderately insulated basement floors)

$$U_{bf} = \frac{2\lambda}{\pi B' + d_t + 0,5z} \ln \left( \frac{\pi B'}{d_t + 0,5z} + 1 \right)$$

If  $(d_t + 0,5z) \geq B'$  (well-insulated basement floors),

$$U_{bf} = \frac{\lambda}{0,457 B' + d_t + 0,5z}$$



# Calcolo della trasmittanza

## Seminterrato riscaldato

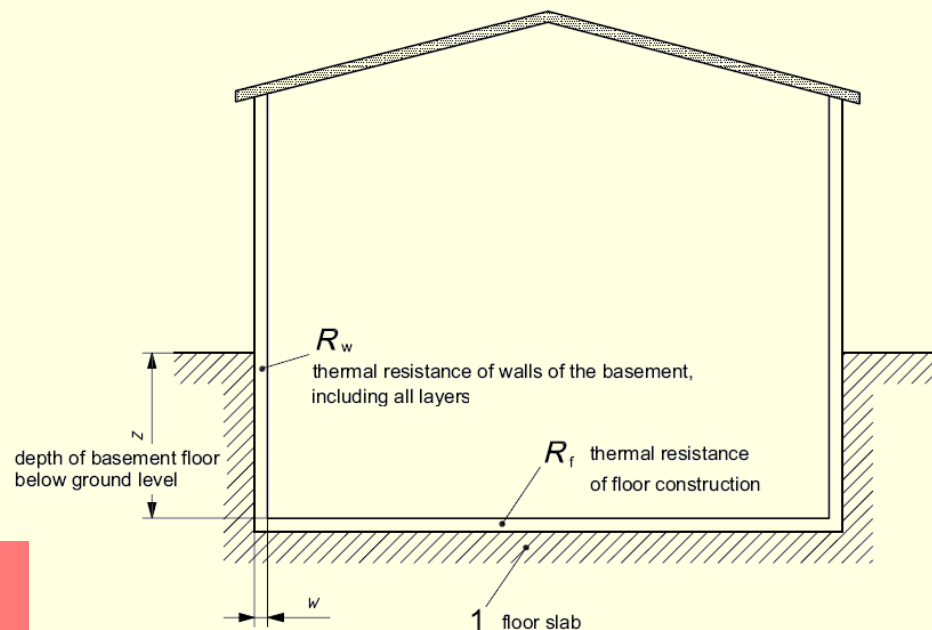
...

□ basement wall ( $U_{bw}$ )

$$d_w = \lambda (R_{si} + R_w + R_{se})$$

$$U_{bw} = \frac{2\lambda}{\pi z} \left( 1 + \frac{0,5d_t}{d_t + z} \right) \ln \left( \frac{z}{d_w} + 1 \right)$$

The formula for  $U_{bw}$  involves both  $d_w$  and  $d_t$ .  
It is valid for  $d_w \geq d_t$ , which is usually the case.  
If, however,  $d_w < d_t$  then  $d_t$  should be replaced by  $d_w$ .



## Dispersioni termiche complessive del seminterrato

$$H_g = (AU_{bf}) + (zPU_{bw}) + (P\Psi_g)$$

E la trasmittanza termica effettiva è una media pesata sulle aree di scambio

$$U' = \frac{(AU_{bf}) + (zPU_{bw})}{A + (zP)}$$

# Calcolo della trasmittanza

(UNI ISO 13370)

## Seminterrato non riscaldato

Proposta una formula applicabile a seminterrati non riscaldati ventilati dall'esterno...

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{U_f} + \frac{A}{(AU_{bf}) + (zPU_{bw}) + (hPU_w) + (0,33 \times nV)}$$

$U_f$  è la trasmittanza termica del pavimento (tra l'ambiente interno ed il piano interrato);

$U_w$  è la trasmittanza termica delle pareti del piano interrato sopra il livello del terreno;

$n$  è la portata d'aria di ventilazione nel piano interrato (ricambi d'aria all'ora);

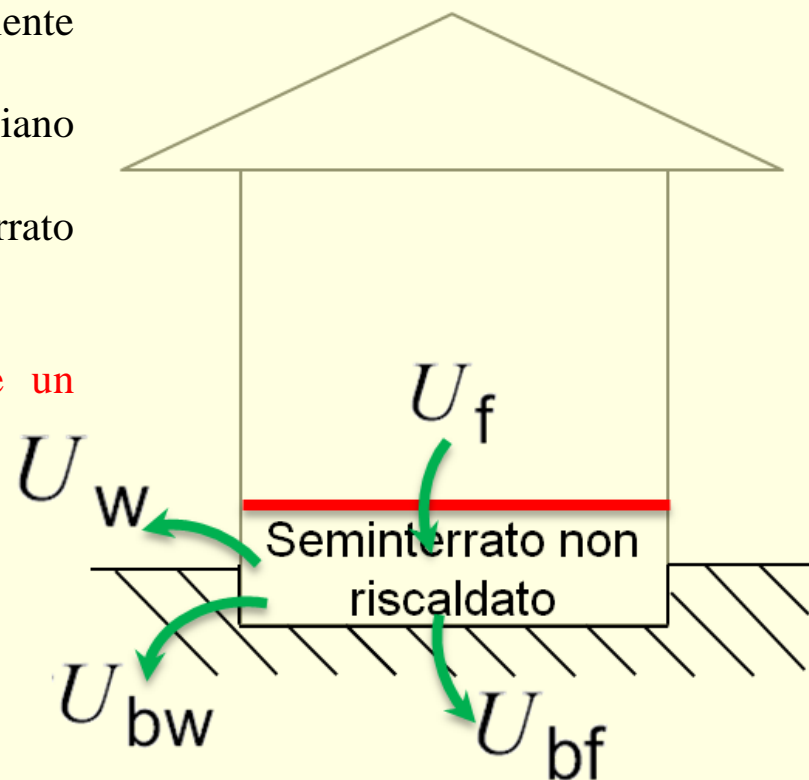
$V$  è il volume d'aria del piano interrato.

In mancanza di informazioni specifiche assumere un valore di  $n = 0,3$  ricambi d'aria all'ora.

## Seminterrato parzialmente riscaldato

Può essere trattato come una media tra:

- Seminterrato riscaldato
- Seminterrato non riscaldato



# Potenza termica trasmessa

La potenza termica trasmessa può essere valutata su base:

- ☐ media annuale;
- ☐ media stagionale;
- ☐ mensile.

**Potenza termica dispersa mediamente nell'anno:**

è valutata su base annuale considerando coeff. di scambio  $H_g$  termico costante

$$\bar{\Phi} = H_g (\bar{\theta}_i - \bar{\theta}_e)$$

Potenza termica media dispersa

Differenza delle temperature medie annuali interna ed esterna

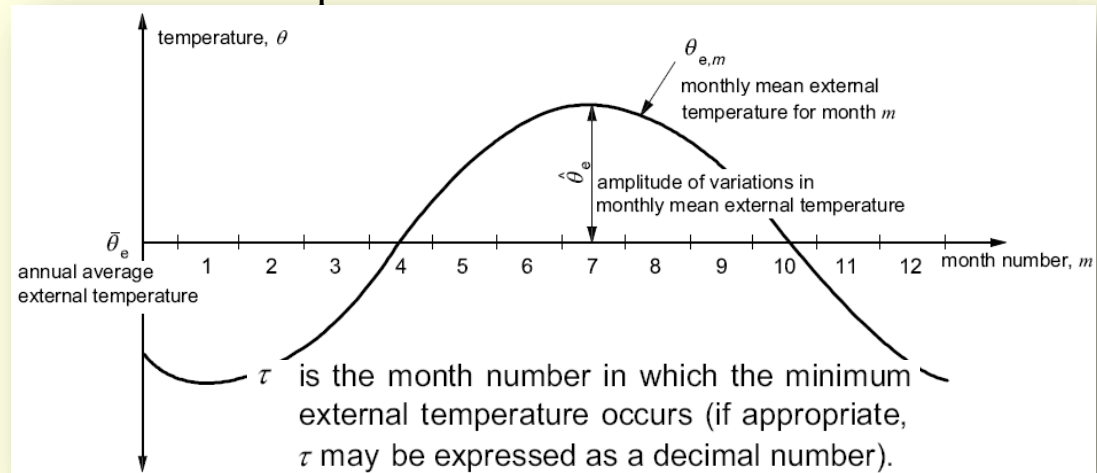


# Potenza termica trasmessa

**Potenza termica dispersa mensilmente (variazione sinusoidale delle temperature):** valutata sommando al contributo medio annuale un contributo periodico mensile con variazione delle temperature interne ed esterne di tipo sinusoidale

$$\theta_{i,m} = \bar{\theta}_i - \hat{\theta}_i \cos\left(2\pi \frac{m - \tau}{12}\right)$$

$$\theta_{e,m} = \bar{\theta}_e - \hat{\theta}_e \cos\left(2\pi \frac{m - \tau}{12}\right)$$



The average rate of heat flow in month  $m$  is then given by

$$\Phi_m = H_g (\bar{\theta}_i - \bar{\theta}_e) - H_{pi} \hat{\theta}_i \cos\left(2\pi \frac{m - \tau + \alpha}{12}\right) + H_{pe} \hat{\theta}_e \cos\left(2\pi \frac{m - \tau - \beta}{12}\right)$$

Flusso termico in regime stazionario per la differenza di temperatura tra gli ambienti interno ed esterno (W/K)

Ampiezza del flusso termico periodico per l'ampiezza della variazione della temperatura interna (esterna) su ciclo annuale (W/K)

$\alpha$  e  $\beta$  sfasamento tra il flusso termico e la temperatura (interno ed esterno)

# Potenza termica trasmessa

**Potenza termica dispersa mensilmente (usando temperature medie mensili):**

$$\Phi_m = H_g (\bar{\theta}_i - \bar{\theta}_e) - H_{pi} (\bar{\theta}_i - \theta_{i,m}) + H_{pe} (\bar{\theta}_e - \theta_{e,m})$$

**Potenza termica dispersa su base stagionale (di riscaldamento e di raffrescamento):**  
valutata trascurando lo sfasamento tra il flusso termico e la temperatura...

$$\bar{\Phi} = H_g (\bar{\theta}_i - \bar{\theta}_e) - \gamma H_{pi} \hat{\theta}_i + \gamma H_{pe} \hat{\theta}_e$$

$$\text{con } \gamma = \frac{12}{n \pi} \sin\left(\frac{n \pi}{12}\right)$$

$n$  is the number of months in the heating season

# Ponte termico da isolamento perimetrale

- Nel calcolo della trasmittanza termica della soletta poggiata su terreno (*slab-on-ground*) la UNI 13370 non tiene conto dell'interazione termica solaio-muro.
- La soletta può essere isolata mediante isolamento orizzontale o verticale.
- Tale effetto di ponte termico può essere aggiunto come *trasmittanza termica lineica*  $\Psi_{g,e}$ .
- Nell'Appendice B della UNI 13370 sono riportate formulazioni per il calcolo di  $\Psi_{g,e}$  per isolamento orizzontale e verticale sulla base di uno **spessore equivalente aggiuntivo dell'isolamento**,  $d'$ :

$$d' = R' \lambda$$

$$R' = R_n - \frac{d_n}{\lambda}$$

$R'$  è la resistenza termica aggiuntiva introdotta dall'isolamento perimetrale (o dalle fondazioni): differenza tra la resistenza termica dell'isolamento e quella del terreno che va a sostituire.

$R_n$  is the thermal resistance of the horizontal or vertical edge insulation (or foundation), in  $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$ ;

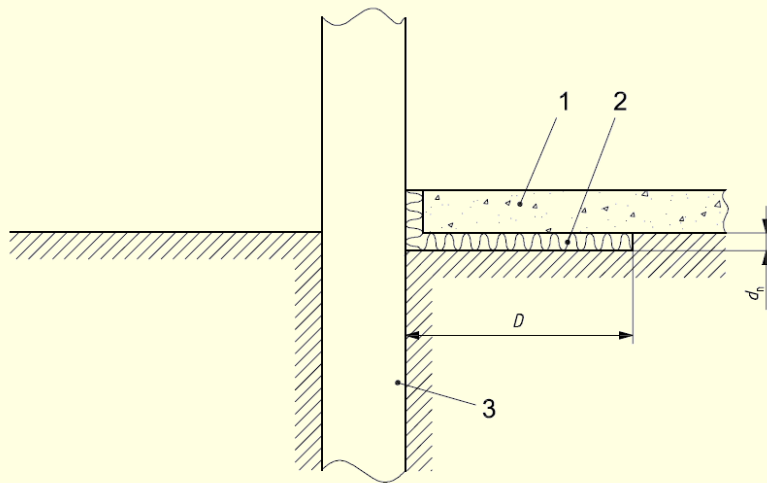
$d_n$  is the thickness of the edge insulation (or foundation), in m.

Pertanto il coefficiente di dispersione termica diventa...

$$H_g = AU + P\Psi_g \longrightarrow H_g = (AU) + P(\Psi_g + \Psi_{g,e})$$

# Ponte termico da isolamento perimetrale

## Isolamento orizzontale

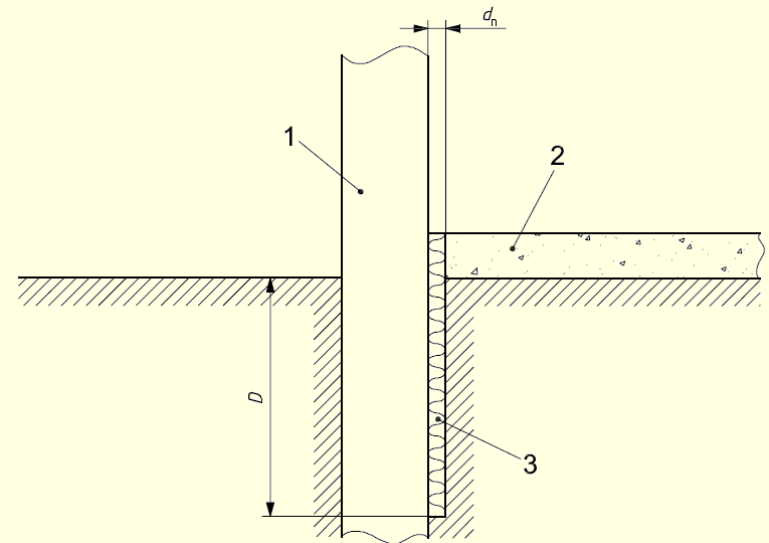


$$\Psi_{g,e} = -\frac{\lambda}{\pi} \left[ \ln \left( \frac{D}{d_t} + 1 \right) - \ln \left( \frac{D}{d_t + d'} + 1 \right) \right]$$

where

$D$  is the width of horizontal edge insulation, in m;

## Isolamento verticale



$$\Psi_{g,e} = -\frac{\lambda}{\pi} \left[ \ln \left( \frac{2D}{d_t} + 1 \right) - \ln \left( \frac{2D}{d_t + d'} + 1 \right) \right]$$

where

$D$  is the depth of vertical edge insulation (or foundation) below ground level, in m

# Ventilazione per piani su vespaio

Nel calcolo della trasmittanza termica per solaio sospeso (su vespaio) occorre tener conto del contributo  $U_x$ .

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{U_f} + \frac{1}{U_g + U_x}$$

L'appendice E della 13370 permette di calcolare il diverso contributo di  $U_x$ : in **generale** si può mostrare che la trasmittanza del solaio su vespaio si può scrivere come:

$$U = U_f \frac{AU_g + hPU_w + \dot{V} c_p \rho (\bar{\theta}_i - \bar{\theta}_v) / (\bar{\theta}_i - \bar{\theta}_e)}{AU_f + AU_g + hPU_w + \dot{V} c_p \rho}$$

$\bar{\theta}_i$  is the annual average internal temperature, in °C;

$\bar{\theta}_e$  is the annual average external temperature, in °C;

$\bar{\theta}_v$  is the annual average temperature of ventilating air, in °C;

$U_f$  is the thermal transmittance of the suspended part of floor, in W/(m<sup>2</sup>·K);

$U_g$  is the thermal transmittance of the ground, in W/(m<sup>2</sup>·K);

$U_w$  is the thermal transmittance of walls of underfloor space (above ground level), in W/(m<sup>2</sup>·K);

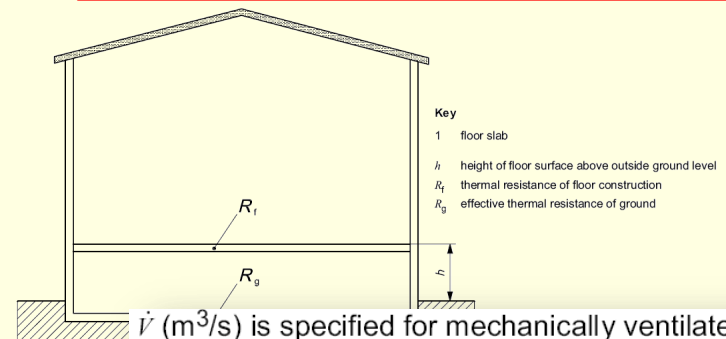
$\dot{V}$  is the volumetric air change rate, in m<sup>3</sup>/s;

$h$  is the height of suspended floor above ground level, in m;

**Espressioni generali per la temperatura media e la trasmittanza termica.**

Il calore è trasferito attraverso i pavimenti su intercapedine verso spazio sottopavimento, e quindi da questo verso l'ambiente esterno attraverso 3 meccanismi:

- attraverso il terreno;
- attraverso le pareti (soprastanti il livello del terreno) dell'intercapedine;
- per ventilazione dell'intercapedine.



For naturally ventilated floors,

$$\dot{V} = 0,59 \times \varepsilon v f_w P$$

# Ventilazione per piani su vespaio

Con...

$$U_g = \frac{2\lambda}{\pi B' + d_g} \ln \left( \frac{\pi B'}{d_g} + 1 \right)$$

$z$ , does not exceed 0,5 m.

$$U_g = U_{bf} + \frac{z P U_{bw}}{A}$$

If  $z > 0,5$  m,

## Natural ventilation

$$\bar{\theta}_v = \bar{\theta}_e$$

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{U_f} + \frac{1}{U_g + U_x}$$

$$U_x = 2 \times \frac{h U_w}{B'} + 1450 \times \frac{\varepsilon v f_w}{B'}$$

## Mechanical ventilation from inside

$$\bar{\theta}_v = \bar{\theta}_i$$

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{U_f} + \frac{1 + \dot{V} c_p \rho / A U_f}{U_g + 2 h U_w / B'}$$

## Mechanical ventilation from outside

$$\bar{\theta}_v = \bar{\theta}_e$$

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{U_f} + \frac{1}{U_g + 2 h U_w / B' + \dot{V} c_p \rho / A}$$

# I coefficienti di scambio termico per trasmissione, $H$

Il coefficiente globale di scambio termico per trasmissione si valuta come:

coefficiente di scambio termico stazionario per trasmissione verso il terreno

coefficiente di scambio termico per trasmissione verso altre zone (interne o meno all'edificio) climatizzate a temperatura diversa

$$H_{tr,adj} = H_D + H_g + H_U + H_A$$

coefficiente di scambio termico diretto per trasmissione verso l'ambiente esterno;

coefficiente di scambio termico per trasmissione attraverso gli ambienti non climatizzati

# I coefficienti di scambio termico $H_U$ e $H_A$

La norma UNI EN 12831 fornisce i metodi di calcolo dei **coefficienti di trasferimento** del calore e dei **flussi termici** degli elementi di edifici in contatto con locali non riscaldati o riscaldati a temperatura differente.

NORMA EUROPEA	Impianti di riscaldamento negli edifici Metodo di calcolo del carico termico di progetto	UNI EN 12831
	<p>Heating systems in buildings Method for calculation of the design heat load</p> <p>La norma fornisce metodi di calcolo delle dispersioni termiche di progetto e del carico termico in condizioni di progetto. Essa può essere utilizzata per tutti gli edifici con altezza interna non maggiore di 5 m, ipotizzati in regime termico stazionario alle condizioni di progetto.</p> <p>Sono inoltre riportate informazioni per edifici di altezza elevata, open space, edifici in cui la temperatura dell'aria e quella media radiante differiscono sensibilmente.</p>	DICEMBRE 2006



# Il coefficiente di scambio termico per trasmissione verso locali non riscaldati, $H_U$ (o $H_{T,iue}$ )

Il coefficiente globale di scambio termico per trasmissione  $H_U$ , tra il volume climatizzato e gli ambienti esterni attraverso gli ambienti non climatizzati è dato:

Se vi è uno spazio non riscaldato (u) tra lo spazio riscaldato (i) e l'esterno (e), il coefficiente di dispersione termica di progetto per trasmissione,  $H_{T,iue}$ , dallo spazio riscaldato verso l'esterno è calcolato come segue:

$$H_{T,iue} = \sum_k A_k \times U_k \times b_u + \sum_l \Psi_l \times l_l \times b_u \quad [\text{W/K}]$$

dove:

$b_u$  = fattore di riduzione della temperatura, che tiene conto della differenza tra la temperatura dello spazio non riscaldato e la temperatura esterna di progetto.

$A_k$  = area dell'elemento dell'edificio (k) in metri quadrati ( $\text{m}^2$ );

$U_k$  = trasmittanza termica dell'elemento dell'edificio (k) in Watt al metro quadrato per Kelvin ( $\text{W}/\text{m}^2 \times \text{K}$ ), calcolata secondo: - EN ISO 6946 (per elementi opachi);

$l_l$  = lunghezza del ponte termico lineare (l) tra l'interno e l'esterno in metri (m);

$\Psi_l$  = trasmittanza termica lineare del ponte termico lineare (l) in Watt al metro per Kelvin ( $\text{W}/\text{m} \times \text{K}$ )  $\times \Psi_l$  deve essere determinato in uno dei due modi seguenti:

- per una valutazione di massima, utilizzando i valori tabulati forniti nella EN ISO 14683;
- oppure calcolando il valore secondo la EN ISO 10211-2.

# Il coefficiente di scambio termico per trasmissione verso locali non riscaldati, $H_U$ (o $H_{T,iue}$ )

Il fattore di riduzione della temperatura,  $b_u$ , può essere determinato con uno dei tre metodi seguenti:

- se la temperatura dello spazio non riscaldato,  $\theta_u$ , nelle condizioni di progetto, è specificata o calcolata:

$$b_u = \frac{\theta_{\text{int},i} - \theta_u}{\theta_{\text{int},i} - \theta_e}$$

$\theta_e$  temperatura ambiente esterno  
 $\theta_u$  temperatura dello spazio non riscaldato  
 $\theta_{\text{int},i}$  temperatura dello spazio interno riscaldato

- se  $\theta_u$  non è nota:

$$b_u = \frac{H_{ue}}{H_{iu} - H_{ue}}$$

$H_{iu}$  = coefficiente di dispersione termica dallo spazio riscaldato (i) allo spazio non riscaldato (u) in Watt per Kelvin (W/K), considerando le dispersioni termiche per trasmissione (dallo spazio riscaldato allo spazio non riscaldato) e le dispersioni termiche per ventilazione (portata d'aria tra lo spazio riscaldato e lo spazio non riscaldato).

$H_{ue}$  = coefficiente di dispersione termica dallo spazio non riscaldato (u) all'esterno (e) in Watt per Kelvin (W/K), considerando le dispersioni termiche per trasmissione (verso l'esterno e verso il terreno) e le dispersioni termiche per ventilazione (tra lo spazio non riscaldato e l'esterno).

# Il coefficiente di scambio termico per trasmissione verso locali non riscaldati, $H_U$ (o $H_{T,iue}$ )

- Riferimento a un'appendice nazionale alla presente norma, che fornisca i valori di  $b_u$  per ciascun caso. In assenza di valori nazionali, si applicano i valori **predefiniti** riportati nel punto D.4.2. *Prospetto 5 della norma UNI/TS11300-1.*

prospetto D.4	Fattore di riduzione della temperatura, $b_u$
Spazio non riscaldato	
<b>Ambiente</b>	
con solo 1 parete esterna	0,4
con almeno 2 pareti esterne senza porte esterne	0,5
con almeno 2 pareti esterne con porte esterne (per esempio, atri, garage)	0,6
→ con 3 pareti esterne (per esempio, vano scala esterno)	0,8
<b>Seminterrato</b>	
senza finestre/porte esterne	0,5
con finestre/porte esterne	0,8
<b>Sottotetto</b>	
→ alto tasso di ventilazione del sottotetto (per esempio tetti con rivestimento di tegole o altri materiali che forniscono una copertura discontinua) senza feltri o tavole di sottostruttura	1,0
altro tipo di tetto non isolato	0,9
tetto isolato	0,7
<b>Vani scala e disimpegni interni</b> (senza pareti esterne, tasso di ventilazione minore di $0,5 \text{ h}^{-1}$ )	0
→ <b>Vani scala e disimpegni con apertura verso l'esterno</b> (area delle aperture/volume dello spazio $>0,005 \text{ m}^2/\text{m}^3$ )	1,0
<b>Pavimento su intercapedine</b> (pavimento sopra vespaio)	0,8

# Il coefficiente di scambio termico per trasmissione verso locali riscaldati a temperature differenti, $H_A$ (o $H_{T,ij}$ )

$H_{T,ij}$  esprime il calore scambiato per trasmissione da uno spazio riscaldato ( $i$ ) a uno spazio adiacente ( $j$ ) riscaldato a una temperatura significativamente diversa.

Quest'ultimo può essere un ambiente adiacente all'interno della porzione entità di edificio (per esempio, un bagno, un ambulatorio medico o un magazzino), un ambiente appartenente ad una porzione entità adiacente di edificio (per esempio, un appartamento) o un ambiente appartenente a un edificio adiacente che può non essere riscaldato.

$$H_{T,ij} = \sum_k f_{ij} \times A_k \times U_k \quad [\text{W/K}]$$

$$f_{ij} = \frac{\theta_{\text{int},i} - \theta_{\text{spazio adiacente}}}{\theta_{\text{int},i} - \theta_e}$$

$A_k$  = area dell'elemento dell'edificio ( $k$ ) in metri quadrati ( $\text{m}^2$ );

$U_k$  = trasmittanza termica dell'elemento dell'edificio ( $k$ ) in Watt al metro quadrato per Kelvin ( $\text{W}/\text{m}^2 \times \text{K}$ ).

$f_{ij}$  = fattore di riduzione della temperatura

*...In assenza di valori nazionali della temperatura degli spazi riscaldati adiacenti...*

Calore trasferito dallo spazio riscaldato ( $i$ ) a:	$\theta_{\text{spazio adiacente}}$ °C
ambiente adiacente all'interno della stessa porzione entità di edificio	$\theta_{\text{spazio adiacente}}$ deve essere specificato: - per esempio, per bagno, magazzino - per esempio, influenza del gradiente di temperatura verticale
ambiente adiacente appartenente a un'altra porzione entità di edificio (per esempio, appartamento)	$\frac{\theta_{\text{int},i} + \theta_{\text{m,e}}}{2}$
ambiente adiacente appartenente a un edificio separato (riscaldato o non riscaldato)	$\theta_{\text{m,e}}$

\*  $\theta_{\text{m,e}}$  è la temperatura esterna media annuale