

# Corso di IMPIANTI TECNICI

---

## Fabbisogno di energia termica in regime invernale



Prof. Paolo ZAZZINI  
Dipartimento INGEO  
Università "G. D'Annunzio" Pescara  
[www.lft.unich.it](http://www.lft.unich.it)

Il DPR 412/93 suddivide il territorio nazionale in “Zone climatiche” in funzione del valore assunto dal parametro **Gradi Giorno GG**:

$$GG = \sum_{j=1}^n t_i - t_{eg,j}$$

La sommatoria è estesa a **tutti i giorni dell’anno** in cui  $t_{eg,j} < 12 \text{ }^\circ\text{C}$

$t_i$  : temperatura di riferimento per gli interni riscaldati =  $20^\circ \text{C}$

$t_{eg,j}$ : temperatura media giornaliera esterna.

**Allegato A  
DPR 412/93:**

| <b>Zona climatica</b> | <b>GG</b>        |
|-----------------------|------------------|
| Zona A:               | GG < 600         |
| Zona B:               | 600 < GG < 900   |
| Zona C:               | 900 < GG < 1400  |
| Zona D:               | 1400 < GG < 2100 |
| Zona E:               | 2100 < GG < 3000 |
| Zona F:               | GG > 3000        |

Le zone climatiche servono a stabilire **il periodo annuo di esercizio degli impianti** (stagione di riscaldamento) e la **temperatura esterna di progetto**.

**DPR  
412/93**

| <b>Zona climatica</b> | <b>Stagione di riscaldamento</b> |
|-----------------------|----------------------------------|
| Zona A:               | 1° Dicembre - 15 Marzo           |
| Zona B:               | 1° Dicembre - 31 Marzo           |
| Zona C:               | 15 Novembre - 31 Marzo           |
| Zona D:               | 1° Novembre - 15 Aprile          |
| Zona E:               | 15 Ottobre - 15 Aprile           |
| Zona F:               | 200 gg. dal 15 Ottobre           |

**UNI  
10379**

| <b>Localita'</b> | <b>Zona climatica</b> |
|------------------|-----------------------|
| Pescara          | D                     |
| L'Aquila         | E                     |
| Chieti           | D                     |
| Teramo           | D                     |

## **Categorie di edifici (DPR 412/93):**

### **E.1 : Edifici adibiti a residenza e assimilabili**

#### **(1) residenze a carattere continuativo**

(abitazioni civili, collegi, conventi, case di pena, caserme)

#### **(2) residenze con occupazione saltuaria**

( case per vacanze, fine settimana e simili)

#### **(3) edifici adibiti ad albergo, pensione e simili.**

### **E.2: Edifici adibiti ad uffici**

### **E.3 Edifici adibiti a case di cura, ospedali...**

### **E.4 Edifici adibiti ad attività ricreative, di culto, associative...**

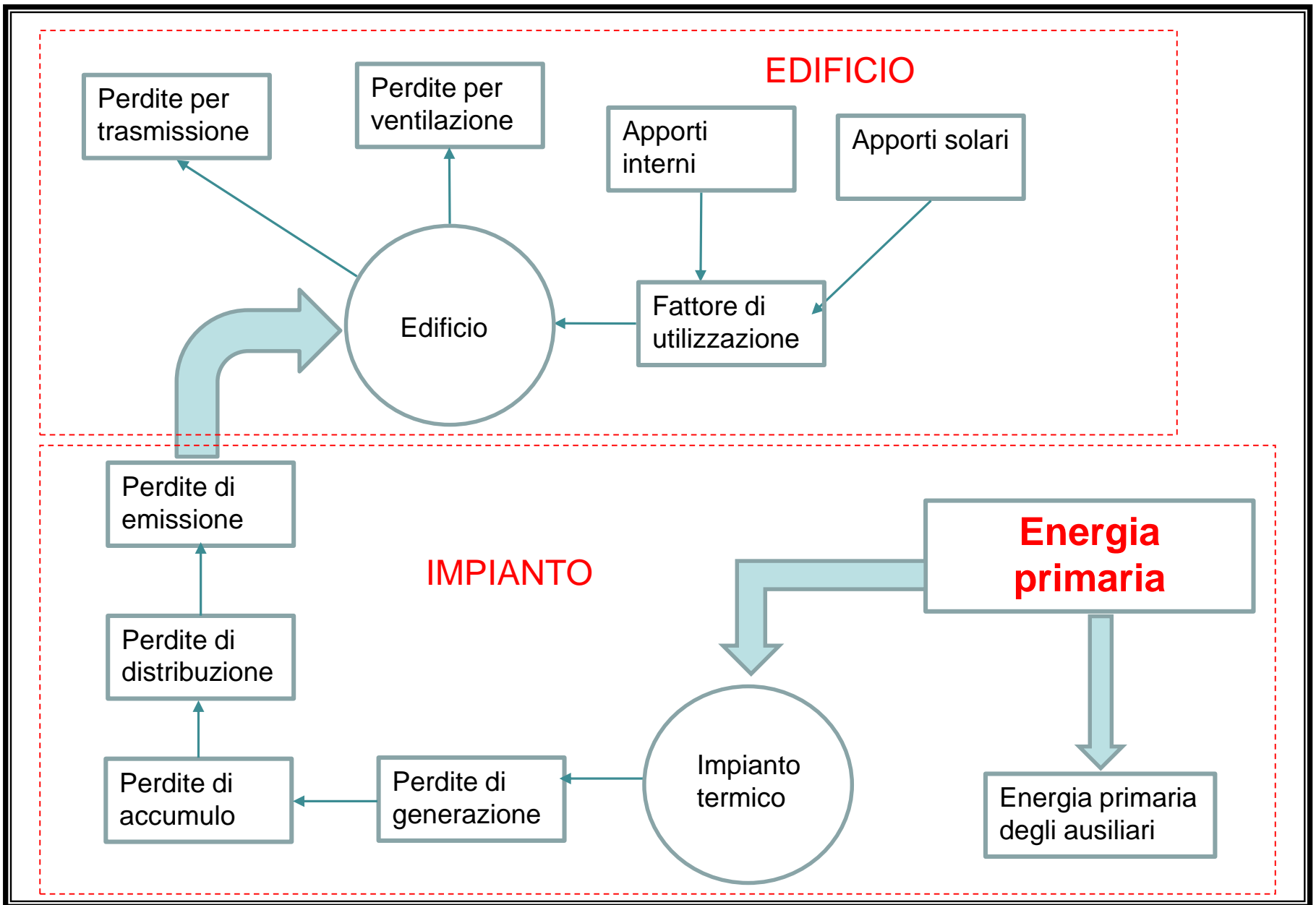
### **E.5 Edifici adibiti ad attività commerciali**

### **E.6 Edifici adibiti ad attività sportive: (1) piscine, saune...; (2) palestre...; (3) servizi...**

### **E.7 Edifici adibiti ad attività scolastiche...**

### **E.8 Edifici adibiti ad attività industriali ed artigianali**

Se esistono categorie diverse nello stesso edificio ciascuna deve essere considerata nella categoria che le compete.



# PROCESSO DI DIMENSIONAMENTO DELL'IMPIANTO TERMICO

## Determinazione del fabbisogno termico dell'edificio

(energia termica necessaria a mantenere le condizioni interne di progetto durante l'intera stagione di riscaldamento)

## Procedimento secondo la norma europea EN 832

- Suddivisione dell'edificio in **zone termiche**: locali con esigenze termiche simili (apporti e dispersioni).
  - Es. Stessa esposizione, stesso periodo di tempo di utilizzo...
  - Diverse esposizioni possono comportare **differenze del 15- 20 %** negli apporti termici. Di solito una **civile abitazione** costituisce **un'unica zona termica**.
- Determinazione delle **dispersioni termiche** per **trasmissione** e per **ventilazione** e degli **apporti termici** gratuiti e solari

## **Dispersioni termiche**

### **Dispersioni termiche per trasmissione**

Dispersioni termiche **tra ambiente interno ed esterno** attraverso **pareti opache e trasparenti**

Dispersioni termiche **tra ambiente interno ed esterno** attraverso i **ponti termici**

Dispersioni termiche **tra ambiente interno ed ambienti interni a diversa temperatura** (non riscaldati)

Dispersioni termiche verso **il terreno**

### **Dispersioni termiche per ventilazione**

Scambi termici dovuti alle **infiltrazioni d'aria** attraverso l'involucro (finestre, cassonetti, etc.) e al rinnovo dell'aria (**ventilazione**)

### **Apporti termici gratuiti**

sensibili e latenti dovuti a **persone**, impianti di **illuminazione**, **apparecchiature**

### **Apporti gratuiti solari**

dovuti alle **radiazioni** entranti attraverso le **superfici vetrate**

In **regime invernale** condizioni di **regime stazionario**: **oscillazioni contenute** della **temperatura esterna** intorno al valore medio **sensibilmente diverso** dalla **temperatura interna** di 20°C.

**Temperatura interna** costante pari a:

**20° C** (abitazioni, attività comm. e ricreative, sportive, scuole, uffici)

**18° C** (attività artigianali e industriali) (DPR 412/93)

**Temperatura esterna**

Se la località è **capoluogo di provincia**:

**temperatura media mensile** di **ciascun mese** facente parte del **periodo di riscaldamento** per la **zona climatica** considerata (Norma Uni 10349).

Se la località **non è capoluogo di provincia**

**valore** relativo al **capoluogo** di provincia **modificato** tenendo conto della **diversa altezza sul livello del mare**

|   | Italia settentrionale | Italia centrale e meridionale | Sicilia | Sardegna |
|---|-----------------------|-------------------------------|---------|----------|
| $\Delta t$ da sommare per ogni aumento di 100 m slm | 0,50÷0,56             | 0,68                          | 0,57    | 0,52     |



## DISPERSIONI PER TRASMISSIONE

Dispersioni termiche **tra ambiente interno ed esterno** attraverso **pareti opache e trasparenti**.

Costituiscono la quota maggiore di energia dispersa da un ambiente

$$Q_1 = U \cdot A \cdot (t_i - t_e)$$

$Q_1$ : potenza termica dispersa dalla parete opaca/trasparenete (W)

U: trasmittanza termica della parete opaca/trasparente ( $W/m^2 K$ )

A: superficie di scambio (area interna della parete) ( $m^2$ )

$t_i-t_e$ : differenza di temperatura tra interno ed esterno ( $^{\circ}C$ )

## Pareti opache

$$U = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{in}} + \sum_{i=1}^n \frac{L_i}{\lambda_i} + \sum_{j=1}^m \frac{1}{C_j} + \frac{1}{\alpha_e}}$$

$\alpha_{in}$ : adduttanza interna (W/m<sup>2</sup> K)

$\alpha_e$ : adduttanza esterna (W/m<sup>2</sup> K)

$C_j$ : conduttanza del j-esimo strato non omogeneo (W/m<sup>2</sup> K)

$\lambda_i$ : conducibilità dell'i-esimo strato omogeneo della parete (W/m K)

$L_i$ : spessore dell'i-esimo strato omogeneo della parete (m)

### Coefficiente di adduzione interno

$\alpha_{in} = 9,9$  W/m<sup>2</sup> K – soffitto – flusso ascendente

$\alpha_{in} = 5,8$  W/m<sup>2</sup> K – pavimento – flusso discendente

$\alpha_{in} = 8$  W/m<sup>2</sup> K – pareti verticali

### Coefficiente di adduzione esterno

$\alpha_e = 23$  W/m<sup>2</sup> K – pareti verticali e orizzontali – flusso ascendente e discendente

## Pareti trasparenti / serramenti

La dispersione termica attraverso una finestra si calcola tenendo conto che i serramenti sono costituiti da due componenti: **telaio e superficie vetrata**.

Per **calcolare U**: due procedure definite dalla UNI EN ISO 10077/2002

### Metodo rigoroso

$$U = \frac{U_g \cdot A_g + U_f \cdot A_f + l_g \cdot \psi_g}{A_g + A_f}$$

$U_g$ : trasmittanza termica area vetrata [W/m<sup>2</sup>K]

$A_g$ : area del vetro [m<sup>2</sup>]

$U_f$ : trasmittanza termica del telaio [W/m<sup>2</sup>K]

$A_f$ : area del telaio [m<sup>2</sup>]

$l_g$ : lunghezza del perimetro del vetro [m]

$\psi_g$ : trasmittanza termica lineare del serramento [W/mK]

$\Psi_g$  tiene conto della dispersione aggiuntiva dovuta all'**interazione tra telaio, vetro e distanziatore** del vetro e dipende dalle loro proprietà termiche.

La norma **ISO 10077-2** definisce un **metodo numerico** per il calcolo di  $\psi_g$  e fornisce, in alternativa, dei **valori di default** per tipiche combinazioni di telai, vetri e distanziatori.

## Metodo semplificato

Si determina il valore della **trasmissione termica del telaio  $U_f$**  in funzione del **tipo di materiale** utilizzato e del suo **spessore**

Es. telaio in legno tenero,  
spessore 50 mm,

$$U_f = 2 \text{ W/m}^2\text{K}$$

| Materiale                               | Spessore (mm) | $U_f$ (W/m <sup>2</sup> K) |
|---|---------------|----------------------------|
| Legno duro<br>(rovere, mogano, iroko)   | 50            | 2,4                        |
|   | 60            | 2,2                        |
|   | 70            | 2,1                        |
| Legno tenero<br>(pino, abete, larice..) | 50            | 2,0                        |
|   | 60            | 1,9                        |
|   | 70            | 1,8                        |
| PVC a due camere                        | 2,2           |                            |
| PVC a tre camere                        | 2,0           |                            |
| PVC (telai da 58-80 mm)                 | 1,2÷1,7       |                            |
| Alluminio senza taglio termico          | 7,0           |                            |
| Alluminio con taglio termico            | 2,2÷3,8       |                            |

Con il valore di  $U_f$  si determina  $U$  selezionando il **tipo di vetrata** con il relativo valore di  $U_g$

| Tipo di vetrata | $U_g$      | Uw con area telaio pari al 20% dell'area dell'intera finestra |     |     |     |     |     |     |     | Uw con area telaio pari al 30% dell'area dell'intera finestra |     |     |     |     |     |     |     |
|-----------------|------------|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                 |            | $U_f$   |     |     |     |     |     |     |     | $U_f$   |     |     |     |     |     |     |     |
|                 |            | 1,8   | 2,0 | 2,2 | 2,6 | 3,0 | 3,4 | 3,8 | 7,0 | 1,8   | 2,0 | 2,2 | 2,6 | 3,0 | 3,4 | 3,8 | 7,0 |
| <b>Singola</b>  | <b>5,7</b> | 4,9   | 5,0 | 5,0 | 5,1 | 5,2 | 5,2 | 5,3 | 6,0 | 4,5   | 4,6 | 4,6 | 4,8 | 4,9 | 5,0 | 5,1 | 6,1 |
| <b>4-6-4</b>    | <b>3,3</b> | 3,2   | 3,2 | 3,3 | 3,4 | 3,5 | 3,5 | 3,6 | 4,1 | 3,0   | 3,1 | 3,2 | 3,3 | 3,4 | 3,5 | 3,6 | 4,5 |
| <b>4-9-4</b>    | <b>3,1</b> | 3,0   | 3,0 | 3,1 | 3,2 | 3,3 | 3,4 | 3,5 | 3,9 | 2,9   | 2,9 | 3,0 | 3,1 | 3,3 | 3,4 | 3,5 | 4,3 |
| <b>4-12-4</b>   | <b>2,9</b> | 2,8   | 2,9 | 3,0 | 3,1 | 3,1 | 3,2 | 3,3 | 3,8 | 2,7   | 2,8 | 2,9 | 3,0 | 3,1 | 3,2 | 3,4 | 4,2 |

Esempio:

vetrata 4-9-4 con  $U_g = 3,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,  $U = 3,0 \text{ W/m}^2\text{K}$

Individuate **tutte le pareti opache e trasparenti** dell'ambiente considerato si effettua il calcolo dell'energia **termica totale (J) sommando i singoli contributi**

$$Q_{T,1} = \sum_{i=1}^n U_i \cdot A_i \cdot (t_i - t_e) \cdot 86400 \cdot g$$

dove:

n: numero di pareti opache e trasparenti

$U_i$ : trasmittanza termica dell'iesima parete opaca/trasparente  
dell'ambiente considerato [ $W/m^2 K$ ]

$A_i$ : area interna della iesima parete opaca/trasparente dell'ambiente considerato [ $m^2$ ]

$t_i$ : temperatura di progetto interna [K]

$t_e$ : temperatura di progetto esterna [K]

g: n° giorni della stagione di riscaldamento (d)

86400: numero di secondi in un giorno (s/d)

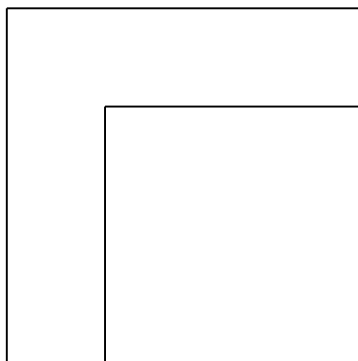
Dispersioni termiche **tra ambiente interno ed esterno** attraverso i **ponti termici**

**Ponte termico:** discontinuità di **forma**, di **struttura** o **mista (forma + struttura)**

Producono un **incremento della dispersione termica** (via preferenziale di dispersione)

Es. Attacco parete-solaio, parete-parete, parete-pavimento, pilastro, telaio di finestra o di porta...

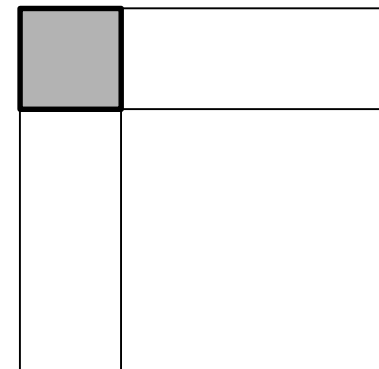
Ponte termico di forma



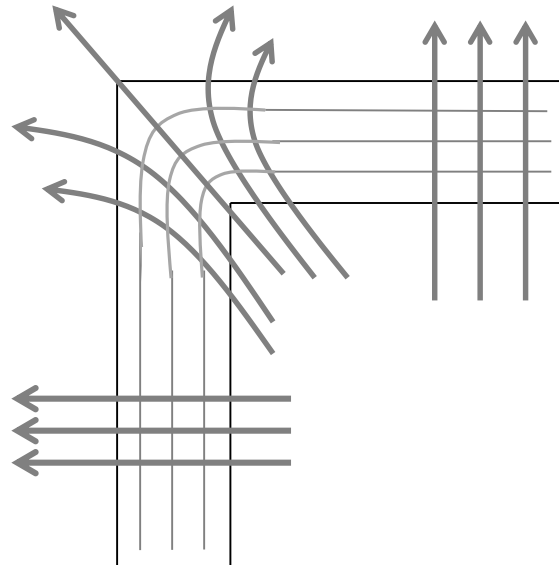
Ponte termico di struttura



Ponte termico misto



In corrispondenza di un ponte termico il **fenomeno termico** non può essere considerato **monodimensionale**



Le **linee isoflusso** sono **sempre perpendicolari** alle **linee isoterme**.

**Nelle zone indisturbate:** linee **isoterme** **parallele** alle **facce estreme** della parete => **flusso termico monodimensionale**.

**Nella zona del ponte termico:** linee **isoterme incurvate** => **flusso termico bi-tridimensionale**.



## Coefficiente di eterogeneità della temperatura superficiale

$$\rho = \frac{t_{in} - t_{pt}}{t_{in} - t_{p0}}$$

$\rho \geq 1,5$   $\Rightarrow$  Ponte termico grave

$t_{in}$  : temperatura dell'aria interna °C

$t_{pt}$  : temperatura della parete nella zona del ponte termico °C

$t_{p0}$  : temperatura della parete nella zona indisturbata °C

In **edifici isolati** termicamente, i ponti termici non corretti **incidono sulle dispersioni** termiche percentualmente **di più che negli edifici non isolati**

Intervento correttivo ottimale: **isolamento a cappotto esterno** dell'edificio, che **inibisce l'effetto del ponte termico** ricostituendo la continuità strutturale

Poiché il **flusso non è monodimensionale**, non si può calcolare la dispersione termica di un ponte termico col metodo della trasmittanza.

La normativa europea introduce il concetto di **coefficiente lineico** che esprime la ***potenza termica trasmessa per unità di salto termico e per unità di estensione lineare del ponte termico.***

A ciascuna tipologia di ponte termico è associato un **coefficiente lineico**, che consente di valutare la potenza termica dispersa nel modo seguente:

$$Q_2 = k \cdot l \cdot (t_i - t_e)$$

essendo:

k: coefficiente lineico del ponte termico considerato [W/mK]

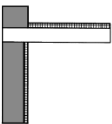


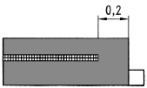
l: estensione lineare del ponte termico considerato [m]

t<sub>i</sub>: temperatura di progetto interna [K]

t<sub>e</sub>: temperatura di progetto esterna [K]

## Coefficienti lineici – UNI EN 14683

**Atlanti dei coefficienti lineici** dei ponti termici forniti dalla **normativa** e da manuali specializzati. In alternativa possono essere determinati con calcoli agli **elementi finiti**.

| Tipologia di ponte termico     |   | [W/mK] |
|--------------------------------|---|--------|
| Coperture                      |    | 0.75   |
| Pilastri                       |   | 1.20   |
| Serramenti di porte e finestre |   | 0.05   |
| Serramenti di porte e finestre |  | 0.65   |

Se il ponte termico è costituito da un **giunto** tra **due strutture** che fanno parte di **due zone termiche diverse**, il valore del **coefficiente lineico** dedotto dalla UNI EN 14683 deve essere **ripartito tra le due zone interessate**

In **prima approssimazione**, per tener conto delle dispersioni dovute ai ponti termici, si possono adottare le seguenti **maggiorazioni percentuali** alla dispersione totale della struttura (UNI EN ISO 14683)

| <b>Tipologia di struttura</b>   | <b>Magg. %</b> |
|---|----------------|
| Parete con isolamento a cappotto dall'esterno senza aggetti, balconi e con ponti termici corretti | 5              |
| Parete con isolamento a cappotto dall'esterno 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             |

Individuati **tutti i ponti termici** dell'ambiente considerato si effettua il calcolo della **totale energia termica (J)** dispersa **sommando i singoli contributi**

$$Q_{T,2} = \sum_{i=1}^n k_i \cdot l_i \cdot (t_i - t_e) \cdot 86400 \cdot g$$

dove:

n: numero di ponti termici dell'ambiente considerato

$k_i$ : coefficiente lineico dell'iesimo ponte termico dell'ambiente considerato [W/mK]

$l_i$ : estensione lineare dell'iesimo ponte termico dell'ambiente considerato [m]

$t_i$ : temperatura di progetto interna [K]

$t_e$ : temperatura di progetto esterna [K]

## Dispersioni termiche **tra ambiente interno ed ambienti interni a diversa temperatura** (non riscaldati)

Si adottano le **stesse formule** usate per **pareti opache e trasparenti** sostituendo alla  $t_e$  il valore della **temperatura del locale non riscaldato** determinabile come segue:

**Metodo dettagliato** complesso secondo la norma **EN13789**

**Metodo semplificato** di facile applicazione pratica secondo la tabella della **UNI 7357/74**

In alternativa:

**Metodo semplificato** applicabile moltiplicando la trasmittanza per un **coefficiente  $b < 1$**

| <b>Tipo di locale non riscaldato</b>   | <b>b</b> |
|--|----------|
| Ambiente non riscaldato confinante con una parete esterna                          | 0,4      |
| Ambiente non riscaldato confinante con due pareti esterne senza serramenti esterni | 0,5      |
| Ambiente non riscaldato confinante con due pareti esterne senza serramenti esterni | 0,6      |
| Ambiente non riscaldato seminterrato senza serramenti esterni                      | 0,5      |
| Ambiente non riscaldato seminterrato con serramenti esterni                        | 0,8      |
| Ambiente non riscaldato confinante con tre pareti esterne senza serramenti esterni | 0,8      |

## Temperature esterne di progetto per locali non riscaldati – UNI CTI 7357/74

| Tipo di locale   | T (°C) | Correzioni se                   |                       |
|--|--------|---------------------------------|-----------------------|
|  |        | Temp. Locale contiguo<br>≠ 20°C | Temp. est.<br>≠ - 5°C |
| Cantine con serramenti aperti  | - 2    | $(T_i - 20)0.1$                 | $(T_e + 5)0.9$        |
| Cantine con serramenti chiusi  | 5      | $(T_i - 20)0.4$                 | $(T_e + 5)0.6$        |
| Sottotetti non plafonati con tegole non sigillate  | $T_e$  | -                               | -                     |
| Sottotetti non plafonati con tegole bene sigillate   | - 2    | $(T_i - 20)0.1$                 | $(T_e + 5)0.9$        |
| Sottotetti plafonati   | 0      | $(T_i - 20)0.2$                 | $(T_e + 5)0.8$        |
| Locali con tre pareti esterne dotate di finestre   | 0      | $(T_i - 20)0.2$                 | $(T_e + 5)0.8$        |
| Locali con tre pareti esterne di cui una con finestra o con due pareti esterne entrambe con finestre | 5      | $(T_i - 20)0.4$                 | $(T_e + 5)0.6$        |
| Locali con tre pareti esterne senza finestre   | 7      | $(T_i - 20)0.5$                 | $(T_e + 5)0.5$        |
| Locali con due pareti esterne senza finestre   | 10     | $(T_i - 20)0.6$                 | $(T_e + 5)0.4$        |
| Locali con una parete esterna dotata di finestra   | 10     | $(T_i - 20)0.6$                 | $(T_e + 5)0.4$        |
| Locali con una parete esterna senza finestre   | 12     | $(T_i - 20)0.7$                 | $(T_e + 5)0.3$        |
| Appartamenti vicini non riscaldati: sottotetto   | 2      | $(T_i - 20)0.3$                 | $(T_e + 5)0.7$        |
| Appartamenti vicini non riscaldati: piani intermedi  | 7      | $(T_i - 20)0.5$                 | $(T_e + 5)0.5$        |
| Appartamenti vicini non riscaldati: piano più basso  | 5      | $(T_i - 20)0.4$                 | $(T_e + 5)0.6$        |
| Vano scala con parete esterna e finestra ad ogni piano, porta di ingresso a piano terra chiusa:      | 2      | $(T_i - 20) 0.3$                | $(T_e + 5) 0.7$       |
| - piano terra  | 7      | $(T_i - 20) 0.5$                | $(T_e + 5) 0.5$       |
| - piani sovrastanti  |        |                                 |                       |
| Vano scala con parete esterna e finestra ad ogni piano, porta di ingresso a piano terra aperta:      | -2     | $(T_i - 20) 0.1$                | $(T_e + 5) 0.9$       |
| - piano terra  | 2      | $(T_i - 20) 0.3$                | $(T_e + 5) 0.7$       |
| - piani sovrastanti  |        |                                 |                       |

Individuate **tutte le pareti opache e trasparenti** dell'ambiente considerato disperdenti verso locali non riscaldati si effettua il calcolo della **totale energia termica dispersa** (J) sommando i singoli contributi

$$Q_{T,3} = \sum_{i=1}^n Q_i \cdot 86400 \cdot g$$

dove:

n: numero di pareti opache e trasparenti disperdenti verso locali non riscaldati dell'ambiente considerato

$Q_i$ : potenza termica dispersa dall'iesima parete opaca/trasparente dell'ambiente considerato verso locali non riscaldati [W]

**Di solito** si può considerare **trascurabile** la **dispersione** dovuta a **ponti termici** verso **locali non riscaldati**.



Dispersioni termiche verso **il terreno**

Somma di **due contributi**:

Dispersioni verso l'esterno **attraverso la fascia perimetrale** del pavimento ed eventualmente attraverso i **muri perimetrali** addossati al pavimento stesso  $Q_{4,1}$ .

Dispersioni verso il **sottosuolo** e la **falda**  $Q_{4,2}$

Il **secondo contributo** è **meno rilevante** del primo e si considera solo se la falda freatica si trova a basa profondità ed ha una elevata portata

**Due metodi** utilizzabili:

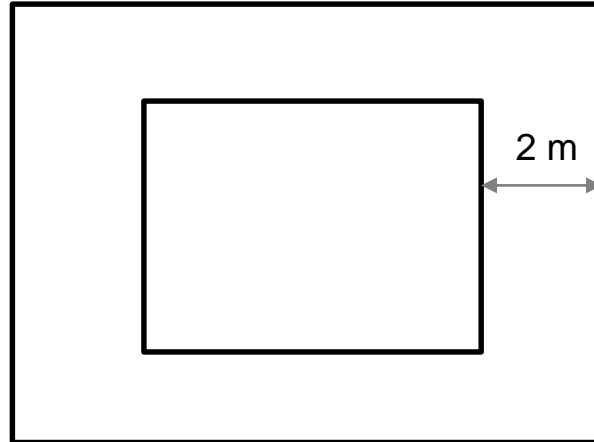
procedimento **empirico**

procedimento secondo la **norma UNI 13370**

In alternativa a **fini pratici** si può usare un **metodo tabellare** illustrato dalla **norma UNI 10346**

Dispersioni verso l'esterno **attraverso la fascia perimetrale**  $Q_{4,1}$   
(**procedimento empirico**)

**Superficie di scambio** convenzionalmente pari ad una **fascia perimetrale** di larghezza **2 m**.



Si sommano alla **resistenza della struttura** a contatto con il terreno una **resistenza aggiuntiva** riferita al terreno umido a **0,7 m<sup>2</sup> K/W** ed una seconda **eventuale resistenza** addizionale da considerare solo in presenza di **mura perimetrali interrato**.

Si ha:

$$Q_{4,1} = p \cdot 2 \cdot U \cdot (t_i - t_e)$$

essendo:

p: perimetro del pavimento (m)

U: trasmittanza termica del pavimento (W/m<sup>2</sup> K)

$$U = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{in}} + \sum_{i=1}^n \frac{L_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_e} + 0,7 + \frac{H}{\lambda_t}}$$

H: profondità del muro (m)

$\lambda_t$ : conducibilità termica del terreno (~ 2,9 W/mK)

0,7: resistenza aggiuntiva dovuta al terreno umido (m<sup>2</sup> K/W)

Dispersioni verso il **sottosuolo** e la **falda**  $Q_{4,2}$

Se la **falda freatica è poco profonda** si deve calcolare anche il secondo contributo dato dalla formula seguente

$$Q_{4,2} = U \cdot S \cdot (t_i - 10)$$

dove:

U: **stessa trasmittanza** calcolata con la **formula precedente** senza la resistenza relativa ai tratti di parete interrata (W/m<sup>2</sup> K)

10: **temperatura** dell'acqua di **falda** (°C)

S: **superficie di scambio** (area effettiva del pavimento) (m<sup>2</sup>)

In definitiva

$$Q_{T,4} = (Q_{4,1} + Q_{4,2}) \cdot 86400 \cdot g$$

Le **dispersioni** di calore attraverso il **pavimento** sono **costanti durante tutto l'anno** non essendo proporzionali alla differenza di temperatura interno esterno. **Non risentono** della differenza  **$t_i - t_e$**

## DISPERSIONI PER VENTILAZIONE

La necessità di effettuare il ricambio d'aria richiesto per motivi igienici comporta l'introduzione all'interno dell'ambiente di **aria di rinnovo** a temperatura pari a quella esterna.

La potenza termica necessaria per riscaldare quest'aria alla temperatura di progetto interna equivale ad una **dispersione**, che viene pertanto detta “**per ventilazione**”

$$Q_v = \rho_a \cdot c_a \cdot G_v \cdot (t_{in} - t_{out})$$

In cui:

$Q_v$ : potenza termica dispersa per ventilazione [W]

$\rho_a$ : densità dell'aria [1,2 kg/m<sup>3</sup>]

$c_a$ : calore specifico dell'aria [1004 J/kg K]

$G_v$ : portata dell'aria di rinnovo [m<sup>3</sup>/s]

$t_{in}$ : temperatura dell'aria interna [° C]

$t_{out}$ : temperatura dell'aria esterna [° C]

La portata d'aria di rinnovo di calcola ipotizzando un **numero di ricambi orari** che, per una civile abitazione, è pari a 0,3 volumi /ora (UNI TS-11300-1).

Indicando con **V il volume dell'ambiente**, si ha:

$$G_v = \frac{0,3 \cdot V}{3600} \quad \left[ \frac{m^3}{s} \right]$$

L'energia termica  $Q_{T,5}$  per il rinnovo dell'aria dell'ambiente considerato vale:

$$Q_{T,5} = Q_v \cdot 86400 \cdot g$$

**L'energia termica dispersa totalmente** dall'ambiente considerato è data dalla **somma di tutti i contributi** per trasmissione e per ventilazione

$$Q_{tot} = \sum_{i=1}^5 Q_{T,i}$$

Se nell'edificio ci sono **m ambienti** la **totale energia termica dispersa** vale:

$$Q_{disp} = \sum_{j=1}^m Q_{tot,j}$$

con ovvio significato dei simboli.

## Apporti gratuiti

**Apporto solare** dovuto alle **radiazioni entranti** attraverso le **superfici vetrate: maggiore** tra gli **apporti gratuiti** → **spesso l'unico** che si considera nel calcolo del fabbisogno termico per il riscaldamento

Energia solare ricevuta dalle superfici trasparenti

$$Q_s = \tau_0 \cdot I_0 \cdot A \cdot F_1 \cdot F_2 \cdot F_3 \cdot g$$

dove:

$\tau_0$ : coefficiente di trasmissione per incidenza della radiazione perpendicolare alla superficie vetrata (0,85 per vetro semplice – 0,75 per doppio vetro)

$I_0$ : irradiazione solare media giornaliera ( $J/m^2 \text{ d}$ ) - UNI 10349

$A$ : area della superficie vetrata al netto del telaio ( $m^2$ )

$F_1$ : coefficiente di correzione per l'ombreggiatura

$F_2$ : coefficiente di correzione per la presenza di tendaggi

$F_3$ : coefficiente di correzione per incidenza non perpendicolare (mediamente pari a 0,9)

$g$ : numero di giorni della stagione di riscaldamento

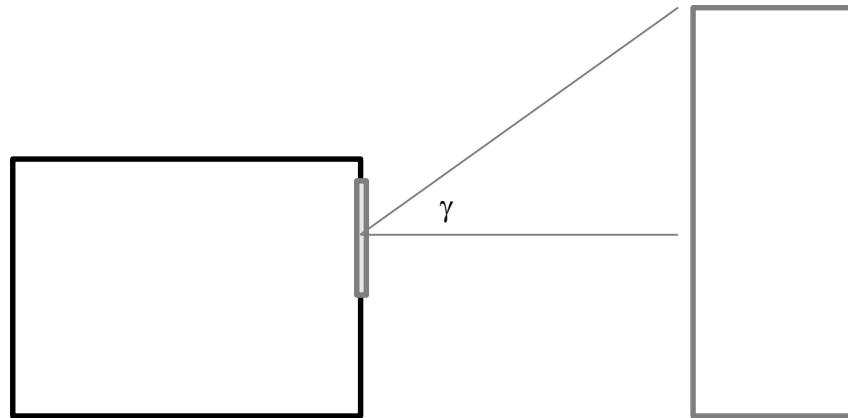
**$F_1$**  dipende da **due fattori**:

$F_{1,a}$ : ombreggiatura da ostruzioni esterne

$F_{1,b}$  : ombreggiatura da aggetti

$$F_1 = F_{1,a} \cdot F_{1,b}$$

$F_{1,a}$  è fornito dalla normativa (EN 832) **in funzione dell'angolo  $\gamma$**  sull'orizzonte sotto cui è visto l'ostacolo che copre parte della volta celeste e dell'**esposizione**.

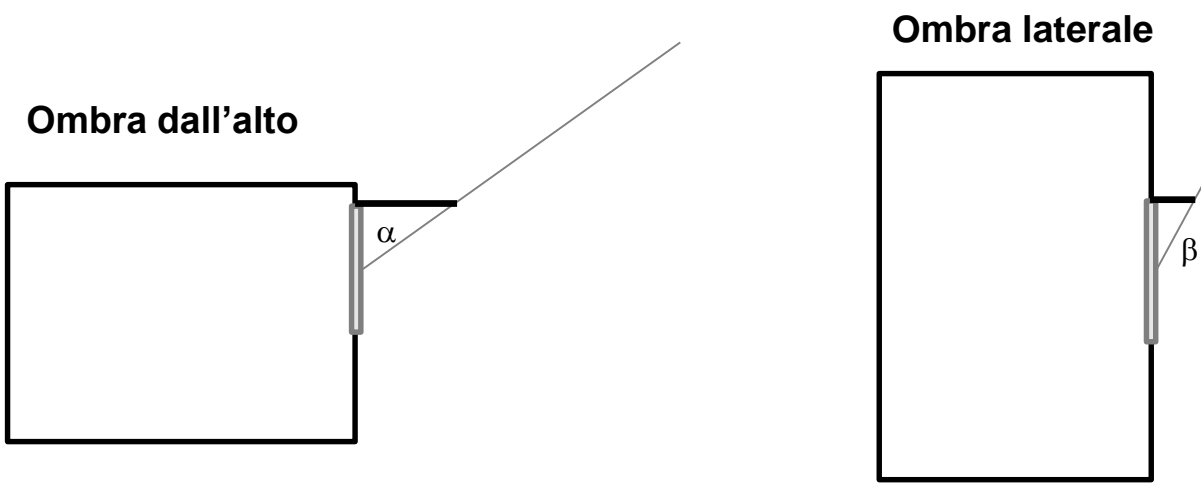




$F_{1,b}$  tiene conto dell'ombreggiatura da **aggetti orizzontali** (ombra dall'alto) o **verticali** (ombra laterale).

Si determina **in funzione dell'esposizione** e degli angoli  $\alpha$  e  $\beta$  che la congiungente tra estremità dell'aggetto e centro della finestra forma con il piano della finestra rispettivamente sul **piano verticale** (ombra dall'alto) e sul **piano orizzontale** (ombra dal lato).

Si ottiene moltiplicando il fattore di aggetto verticale per quello di aggetto orizzontale.



$F_2$  : rapporto tra l'energia solare media entrante in **presenza di tendaggi** e quella che entrerebbe **in assenza di tendaggi** (EN 832)

Gli apporti solari vanno moltiplicati per il **fattore di utilizzazione**  $F_{ut} < 1$  che tiene conto del fatto che il **calore entrante** attraverso le radiazioni solari viene **ceduto all'ambiente ritardato ed attenuato**

$$F_{ut} < 0,8 \div 0,9$$

L'**energia termica** da fornire al **singolo ambiente** è data da:

$$Q'_{tot} = Q_{tot} - F_{ut} \cdot Q_s$$

L'**energia termica** da fornire **all'edificio** per mantenere le **condizioni di progetto** ad esclusione di quella necessaria per la fornitura di **acqua calda sanitaria** (ACS) è data da:

$$Q_h = Q_{disp} - F_{ut} \cdot Q_{s,tot}$$

dove  $Q_{s,tot}$  è l'apporto solare di tutte le superfici vetrate presenti nell'edificio

L'energia termica  $Q$  che l'impianto dovrà produrre è data da:

$$Q = \frac{Q_h}{\eta_h}$$

dove:

$\eta_h$  :rendimento complessivo dell'impianto.

## Rendimento globale dell'impianto $\eta_h$

$$\eta_h = \frac{\text{energia termica fornita agli ambienti}}{\text{energia termica primaria disponibile}}$$

**Energia termica primaria** disponibile = **massa** di combustibile per **potere calorifico inferiore**.

$$\eta_h = \eta_g \cdot \eta_d \cdot \eta_e \cdot \eta_r$$

### **Perdite di energia termica nell'impianto:**

Dispersioni al **generatore** di calore (**rendimento del generatore  $\eta_g$** )

Dispersioni lungo la **rete di distribuzione** per inadeguato isolamento termico delle tubazioni (**rendimento di distribuzione  $\eta_d$** )

Dispersioni nella fase di **emissione**: la stratificazione termica dell'aria facilita **moti convettivi** che contribuiscono alle dispersioni termiche verso l'esterno, inoltre il **calore irraggiato** dai corpi scaldanti incide sulle pareti che lo disperdono in parte verso l'esterno (**rendimento di emissione  $\eta_e$** )

Dispersioni dovute alla **regolazione dell'impianto** che comporta spesso **sprechi** di energia termica (**rendimento di regolazione  $\eta_r$** )

Valore cautelativo di  $\eta_h = 0,75$  per un **impianto tradizionale**

## Determinazione della potenza termica da installare

Una volta fissato il **periodo giornaliero** (h/d) di funzionamento, si possono calcolare la potenza termica **P'** (W) da installare nel **singolo ambiente**:

$$P' = \frac{Q'_{tot}}{g \cdot \tau \cdot 3600} \cdot \gamma$$

e quella totale **P** (W) da installare **nell'intero edificio**:

$$P = \frac{Q}{g \cdot \tau \cdot 3600} \cdot \gamma$$

$\tau$ : numero di ore di funzionamento giornaliera (h/d)

$g$ : numero di giorni del periodo di riscaldamento (d)

3600: numero di secondi in un ora (s/h)

$\gamma$ : fattore di riduzione per intermittenza

$$\gamma = \frac{t_m - t_e}{t_i - t_e}$$

**$t_m$ : temperatura media** dell'ambiente

Ipotizzando che durante i **periodi di spegnimento** dell'impianto la **temperatura ambiente** si **abbassi di 3-4 °C** rispetto a quella di regime, si può assumere che l'ambiente assuma una **temperatura media pesata tra quella a regime e quella ad impianto spento**

Es: Impianto acceso per 14 ore e spento per 10 ore al giorno

$$t_m = \frac{20 \cdot 14 + 16 \cdot 10}{24} = 18,33 \text{ °C}$$

**Se non c'è intermittenza:  $\gamma = 1$**

In passato il calcolo delle dispersioni termiche veniva effettuato nelle **condizioni più gravose** di funzionamento seguendo la **Norma UNI 7357/74** (sostituita dalla **UNI EN 12831**), calcolando le **potenze termiche** disperse e **non le energie**, **trascurando gli apporti solari e gratuiti** e adottando la temperatura **esterna minima statistica**, che **per Pescara** era pari a **2 °C**.

## Procedimento secondo la norma UNI 7357//4

Norma **abrogata da alcuni anni** ma utilizzabile per una **verifica** del dimensionamento fatto.

Vengono calcolate le **potenze termiche disperse** (non le energie) successivamente **corrette con fattori** che tengono conto dell'**intermittenza** e dell'**esposizione**, quest'ultima **non considerata dalle attuali norme**.

**Non si prendono in considerazione gli apporti solari** per cui il fabbisogno termico è dato semplicemente dalla somma delle potenze disperse per trasmissione e ventilazione.

$$Q_t = (Q_d + Q_v) \cdot F_i \cdot F_o$$

dove:

$Q_t$ : potenza termica richiesta dall'ambiente considerato (W)

$Q_d$ : potenza termica dispersa per trasmissione (W)

$Q_v$ : potenza termica dispersa per ventilazione (W)

$F_i$ : fattore correttivo per l'intermittenza

$F_o$ : fattore correttivo per l'esposizione

## Fattori maggiorativi della Dispersione

- **Fattore dovuto all'intermittenza di funzionamento  $F_i$**

**Necessario aumentare la potenza** erogata dal generatore per **gestire i transitori** di avviamento in tempi ragionevoli

**Edificio bene isolato: attenuazione** notturna di temperatura = **1-2 °C**

**Non richiede** un eccessivo **sovradimensionamento** della potenza per i transitori di avviamento.

**Edifici pubblici** (scuole, uffici): **attenuazione più accentuata**

(impianto spento per tutto il fine settimana)

- Durata di accensione 16 ÷ 18 h/d :  $F_i = 1,10$
- Durata di accensione 10 ÷ 14 h/d :  $F_i = 1,15$
- Durata di accensione 6 ÷ 8 h/d :  $F_i = 1,20$
- Accensioni occasionali:  $F_i = 1,25$

## Fattori maggiorativi della Dispersione

- **Fattore correttivo dovuto all'orientamento  $F_0$**

L'orientamento **influisce sulle dispersioni**.

Una **parete irraggiata** durante alcune ore del giorno è più sana e meno interessata da **fenomeni di umidità** di una **parete a Nord** mai irraggiata direttamente.

La tabella seguente i valori del fattore  **$F_0$**  da considerare in funzione dell'**orientamento** della parete considerata

| <b>Sud</b> | <b>Sud-Ovest</b> | <b>Ovest</b> | <b>Nord-Ovest</b> | <b>Nord</b> | <b>Nord-Est</b> | <b>Est</b> | <b>Sud-Est</b> |
|------------|------------------|--------------|-------------------|-------------|-----------------|------------|----------------|
| 1          | 1,02-1,05        | 1,05-1,10    | 1,10-1,15         | 1,15-1,20   | 1,15-1,20       | 1,10-1,15  | 1,05-1,10      |