

QUADRO DELLA NUOVA NORMATIVA TECNICA EUROPEA ED ITALIANA



SOMMARIO DELLA PRESENTAZIONE

1. La normativa tecnica europea a supporto della Direttiva 2002/91/CE
2. La norma UNI EN ISO 13790 sul calcolo del fabbisogno energetico degli edifici
3. La norma UNI TS 11300-1

1.

La normativa tecnica europea a supporto della Direttiva 2002/91/CE

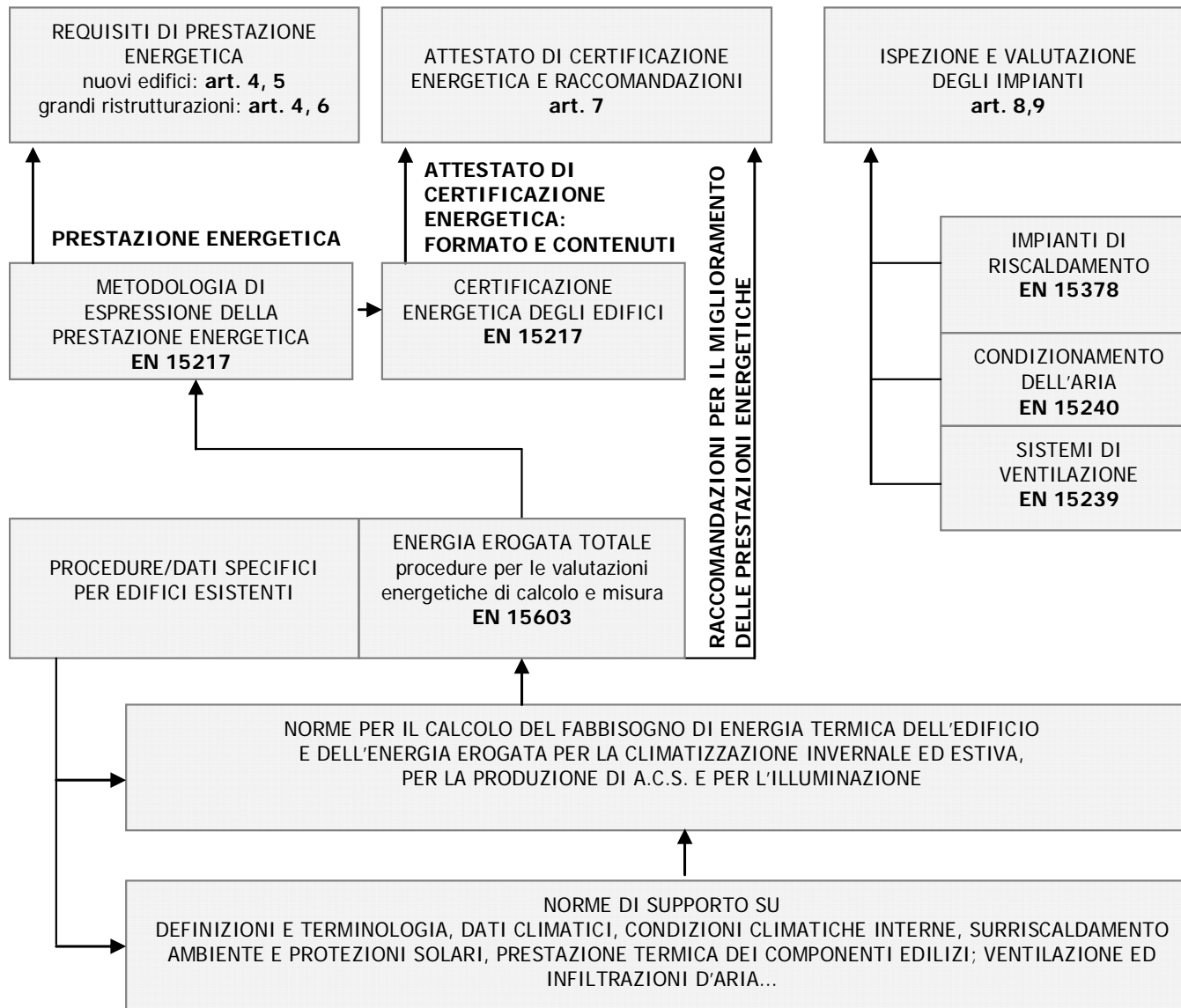
Mandato della Commissione Europea a CEN, CENELEC e ETSI

- Metodologia di calcolo delle prestazioni energetiche degli edifici (*art. 3*)
- Metodi di valutazione adattabili alla certificazione energetica (*art. 7*)
- Linee guida generali per l’ispezione di boiler, impianti di riscaldamento e di condizionamento dell’aria (*art. 8 e 9*)

Mandato della Commissione Europea: elementi da considerare

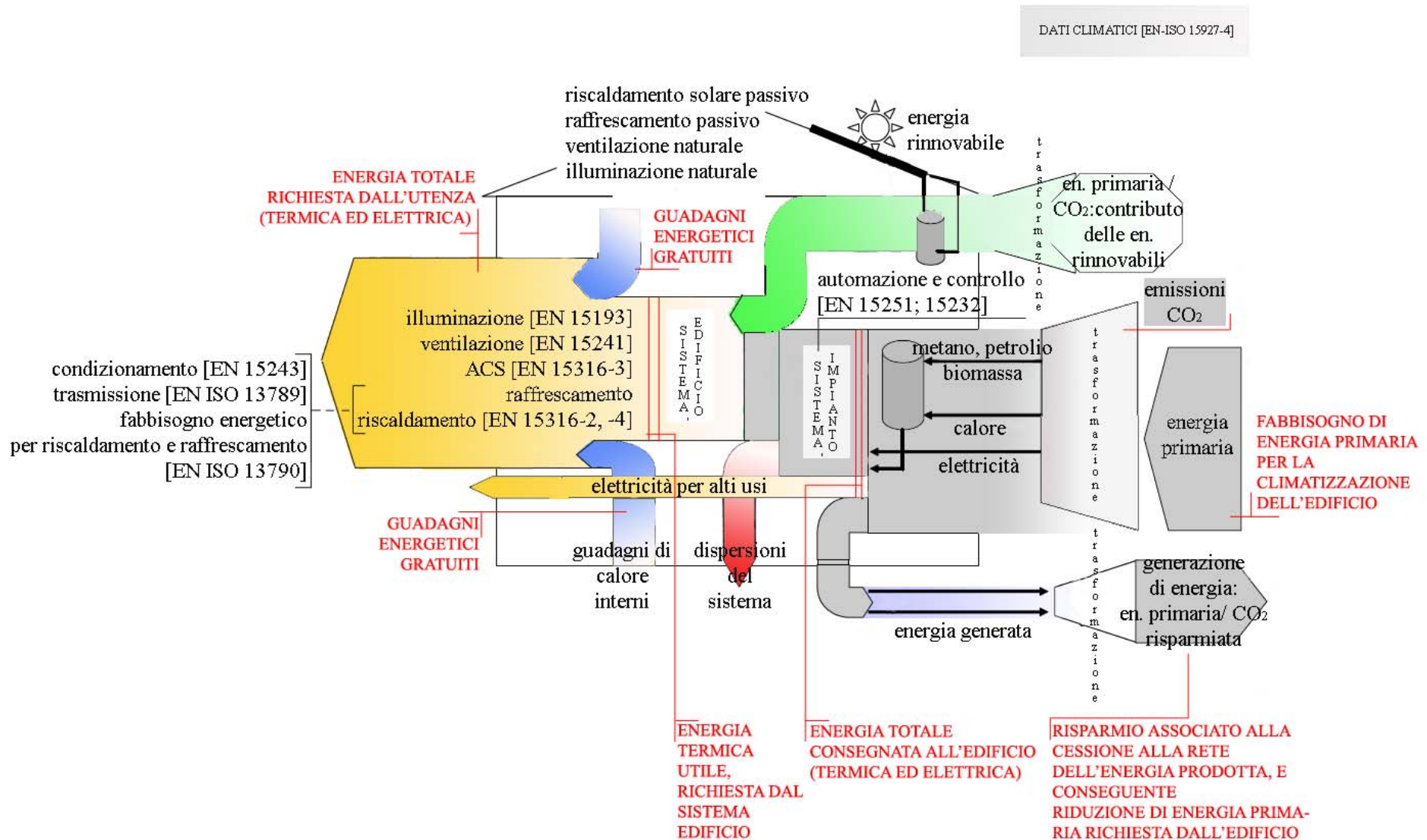
- Fabbisogno di energia e rendimento dei sistemi di riscaldamento, raffrescamento, ventilazione, illuminazione
- Integrazione delle sorgenti di energia rinnovabile, raffrescamento passivo, ...
- Metodologia di ausilio ad ingegneri e architetti per l’ottimizzazione energetica dell’edificio in ogni fase dal progetto alla verifica
- Metodologie di valutazione del consumo di energia primaria e dell’impatto ambientale

Metodologia di calcolo: schema generale

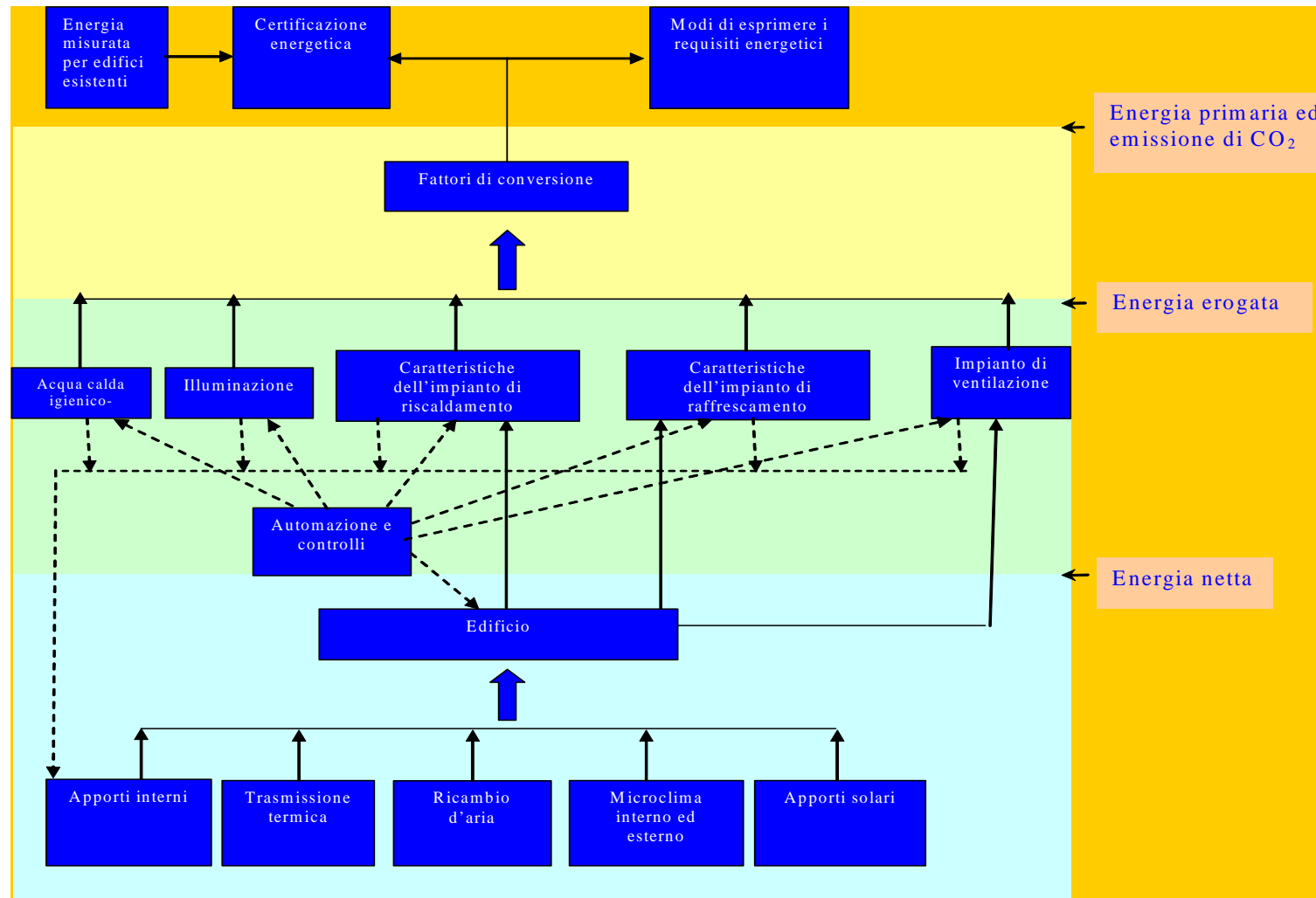


tratto da
"Umbrella document"

Metodologia di calcolo: flussi energetici



Flow chart della normativa



Classificazione delle norme CEN

1. Calcolo del fabbisogno totale di energia dell’edificio
2. Calcolo dell’energia erogata
3. Calcolo dell’energia termica netta per riscaldamento e raffrescamento
4. Calcoli di supporto
 - A. Prestazioni termiche dei componenti edilizi
 - B. Ventilazione e infiltrazioni d’aria
 - C. Surriscaldamento e protezione solare
 - D. Condizioni interne e clima esterno
 - E. Definizioni e terminologia
5. Monitoraggio e verifica della prestazione energetica

CEN TC coinvolti

- BT/WG 173 *Project Group* sulla Direttiva
- TC 89 Prestazioni termiche degli edifici e dei componenti edilizi
- TC 156 Impianti di ventilazione e di condizionamento negli edifici
- TC 169 Luce ed illuminazione
- TC 228 Impianti di riscaldamento negli edifici
- TC 247 Regolazioni per le installazioni meccaniche negli edifici

Nuove norme affidate al TC 89

- Calcolo dei consumi di energia per il riscaldamento ed il raffrescamento ambiente - Metodo semplificato (EN ISO 13790)
- Stima dei consumi di energia e definizione di metodologie di valutazione (EN 15603)
- Metodi per esprimere le prestazioni energetiche e per la certificazione energetica degli edifici (EN 15217)

Nuove norme affidate al TC 228

- Consumo energetico totale, energia primaria ed emissioni di CO₂ (EN 15603)
- Metodo di calcolo dei fabbisogni energetici e dei rendimenti degli impianti di riscaldamento (EN 15316)
- Linee guida per l’ispezione delle caldaie e degli impianti di riscaldamento (EN 15378)

Nuove norme affidate al TC 156

- Portate di ventilazione negli edifici (EN 15242)
- Fabbisogni energetici degli impianti di ventilazione e condizionamento (EN 15241, EN 15243)
- Linee guida per l’ispezione degli impianti di aria condizionata (EN 15240)
- Linee guida per l’ispezione degli impianti di ventilazione (EN 15239)
- Specificazione di criteri per l’ambiente interno (termico, luminoso, acustico, qualità dell’aria) (EN 15251)

Nuove norme affidate ad altri TC

- Fabbisogno di energia per l’illuminazione (EN 15193)
- Metodi di calcolo per il miglioramento dell’efficienza energetica attraverso l’applicazione di sistemi integrati di automazione dell’edificio (EN 15232)

Calcolo del fabbisogno di energia per riscaldamento e raffrescamento

La norma specifica due metodi semplificati di calcolo:

- *Modello CSTB*

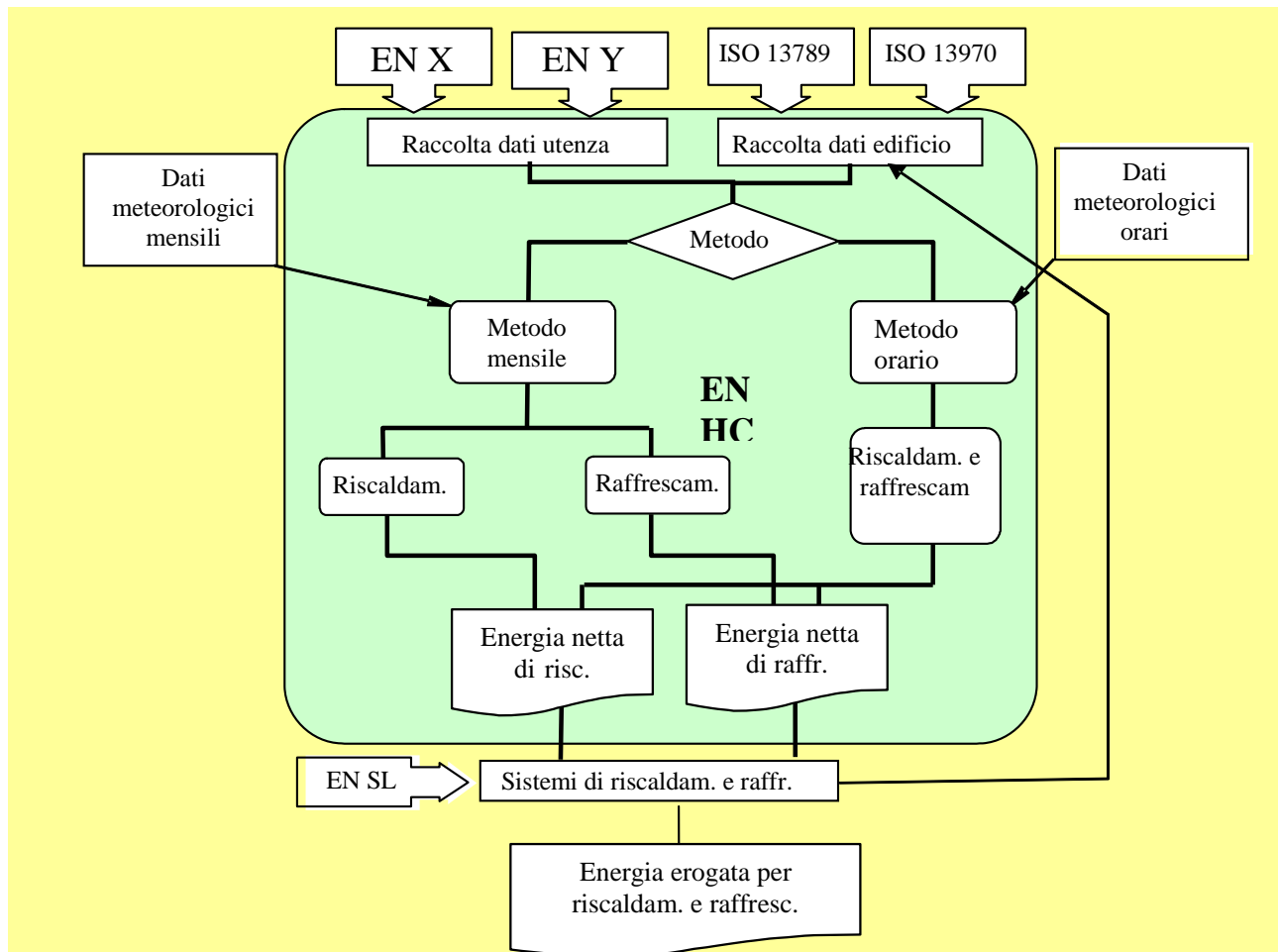
(dinamico, basato su uno schema analogo elettrico dell'edificio e su dati orari)

- *Modello TNO*

(quasi stazionario, basato sul bilancio termico mensile dell'edificio)

Per ambedue i metodi il livello di dettaglio dell'input è comparabile con quello delle norme EN ISO 13790 e EN 832.

Calcolo del fabbisogno di energia per riscaldamento e raffrescamento



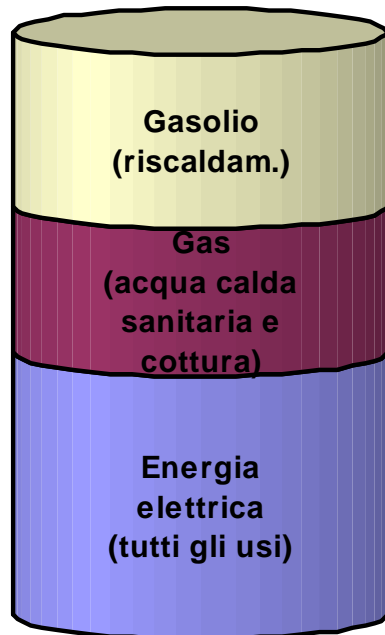
EN 15603 – Fabbisogno di energia globale, emissioni di CO₂ e metodologie di valutaz.

La norma specifica una metodologia, applicabile agli edifici esistenti, per valutare il fabbisogno di energia:

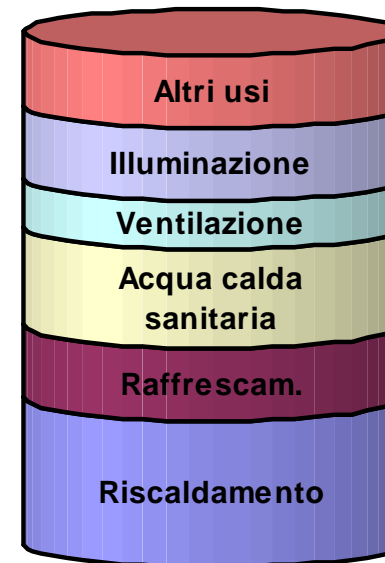
- attraverso la contabilizzazione dei consumi
- attraverso il calcolo basato su:
 - il rilievo in campo dei parametri tipologici/costruttivi
 - un uso standard dell’edificio
- l’efficacia di possibili misure di retrofit

Tipi principali di valutazione energetica

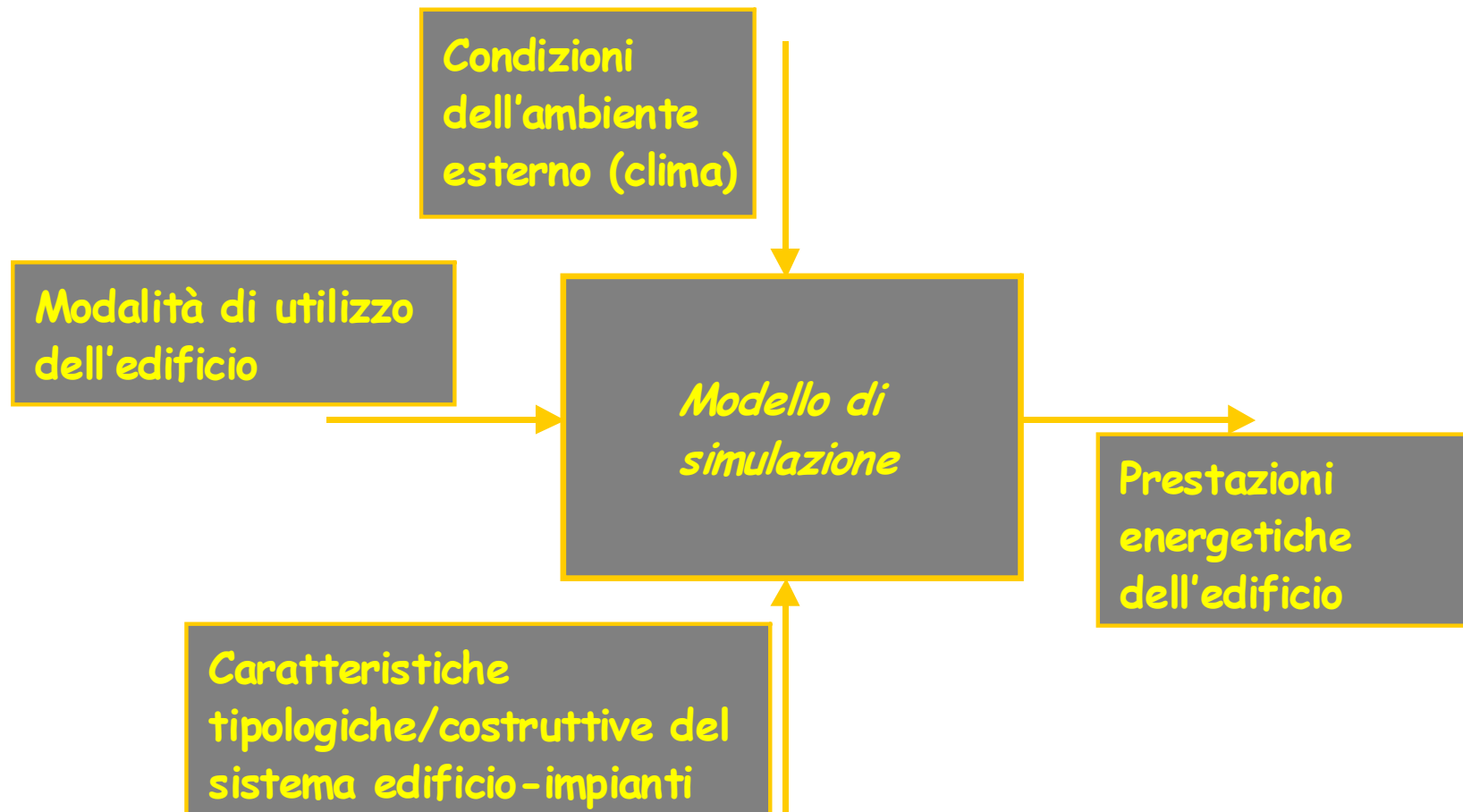
Valutazione energetica
d'esercizio



Valutazione energetica
di calcolo



Calcolo delle prestazioni energetiche dell'edificio



Tipi di valutazione energetica

| Tipo di valutazione | Determinazione della prestazione | Dati di input | | | Applicazione |
|---------------------|----------------------------------|--------------------|----------|-----------------------|--|
| | | Utenza | Clima | Edificio | |
| di Progetto | calcolata | standard | standard | elaborati di progetto | concessione edilizia, certificazione |
| Standard | calcolata | standard | standard | reale | certificazione, requisiti di legge |
| Adattata all'utenza | calcolata | a seconda dei casi | | reale | ottimizzazione, confronti, progetto di riqualificazione energetica |
| d'Esercizio | misurata | reale | reale | reale | certificazione, requisiti di legge |

EN 15217/1 - Modi per esprimere la prestazione energetica degli edifici

La norma specifica:

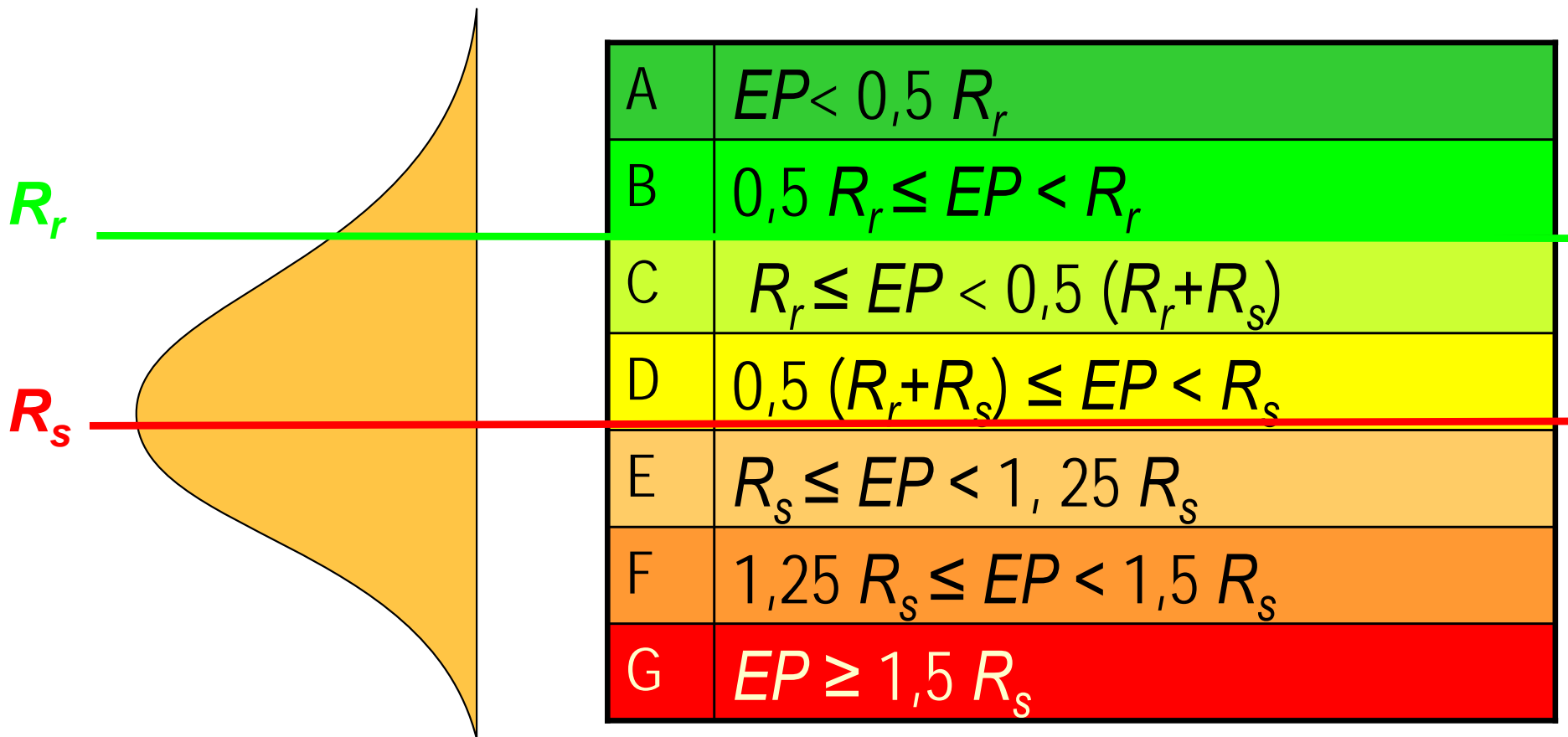
- i modi per esprimere le prestazioni ed i requisiti energetici di un edificio, basati su:
 - la prestazione energetica globale
 - l’energia erogata
 - l’energia netta usata dall’edificio
 - le caratteristiche globali del sistema
 - le caratteristiche di componenti
- i modi per neutralizzazione alcuni parametri (es. dimensioni, clima, tipo di fonte energetica)

EN 15217/2 - Certificazione energetica degli edifici

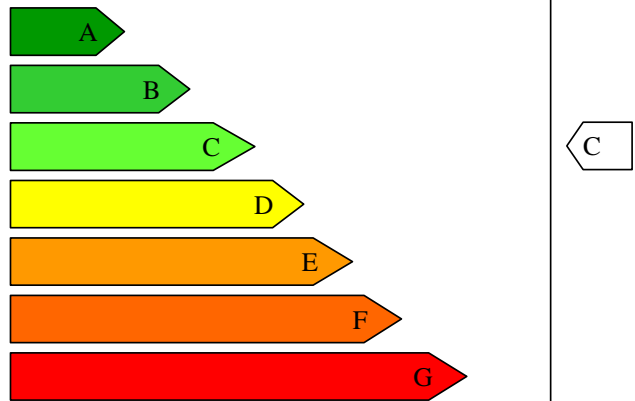
La norma definisce:

- il possibile contenuto di un “**sistema di certificazione**” e di un “**certificato energetico**”
- indicazioni sugli **usi finali** e sugli **indicatori energetici** da considerare nella certificazione energetica
- una **scala di classi** di prestazione basata su opportuni **valori di riferimento**
- il tipo di **raccomandazioni** da riportare sul certificato

Procedura per la classificazione degli edifici



Esempio di certificato energetico

| | | |
|--|--|-------------------|
| Certificato energetico | Prestazione energetica dell'edificio | Come costruito |
| | Spazio per fare riferimento allo schema di certificazione usato | Valutaz. standard |
| | <p>Molto energeticamente efficiente</p>  <p>Non energeticamente efficiente</p> | |
| | Nome dell'indicatore usato | unità |
| | | calcolato |
| | | 130 |
| Spazio per inserire informazioni aggiuntive sugli usi energetici dell'edificio | | |

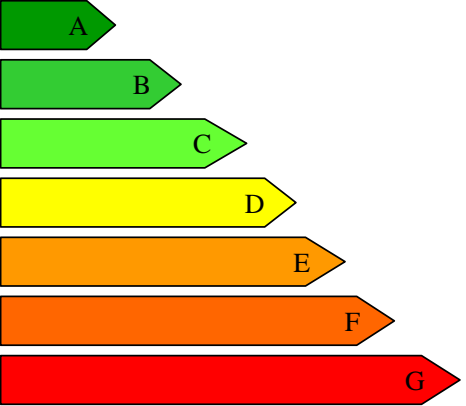
secondo
EN 15217

Informazioni amministrative

- indirizzo dell'edificio
- area climatizzata
- data di validità
- nome e firma del certificatore

Esempio di certificato energetico

Certificato energetico

| Prestazione energetica dell'edificio | Come costruito | In uso |
|---|-------------------|----------------------|
| Spazio per fare riferimento allo schema di certificazione usato | Valutaz. standard | Valutaz. d'esercizio |
| <p>Molto energeticamente efficiente</p>  <p>Non energeticamente efficiente</p> | | |
| Nome dell'indicatore usato unità | calcolato | misurato |
| | 130 | 170 |
| Spazio per inserire informazioni aggiuntive sugli usi energetici dell'edificio | | |

secondo
EN 15217

Informazioni amministrative

- indirizzo dell'edificio
- area climatizzata
- data di validità
- nome e firma del certificatore

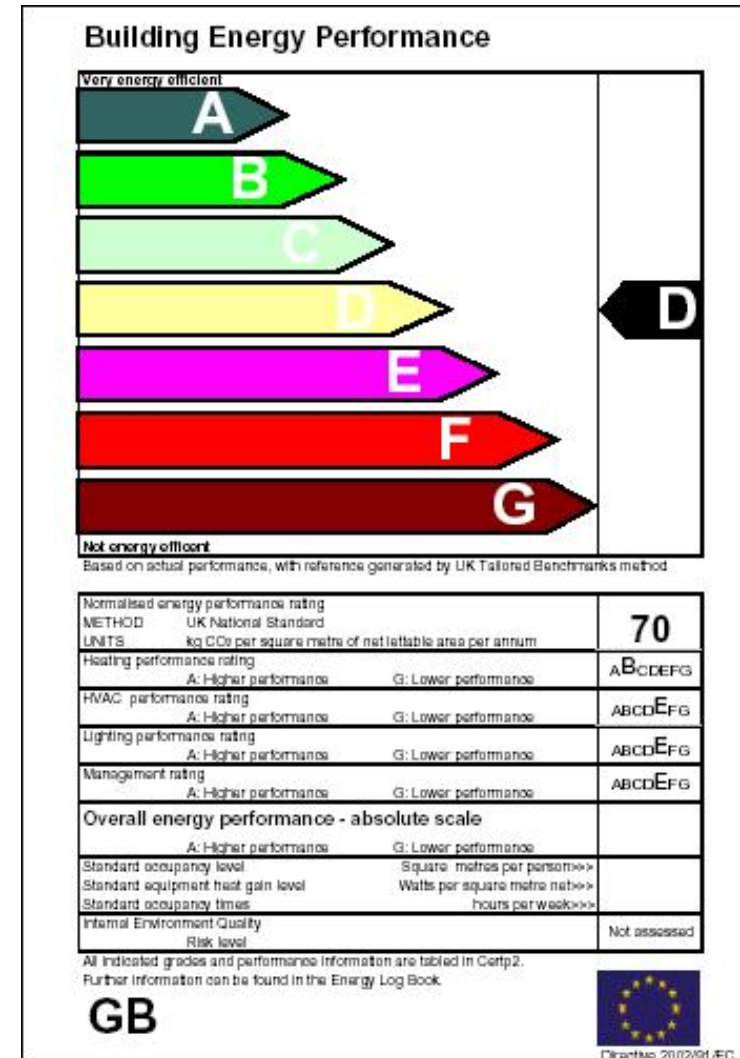
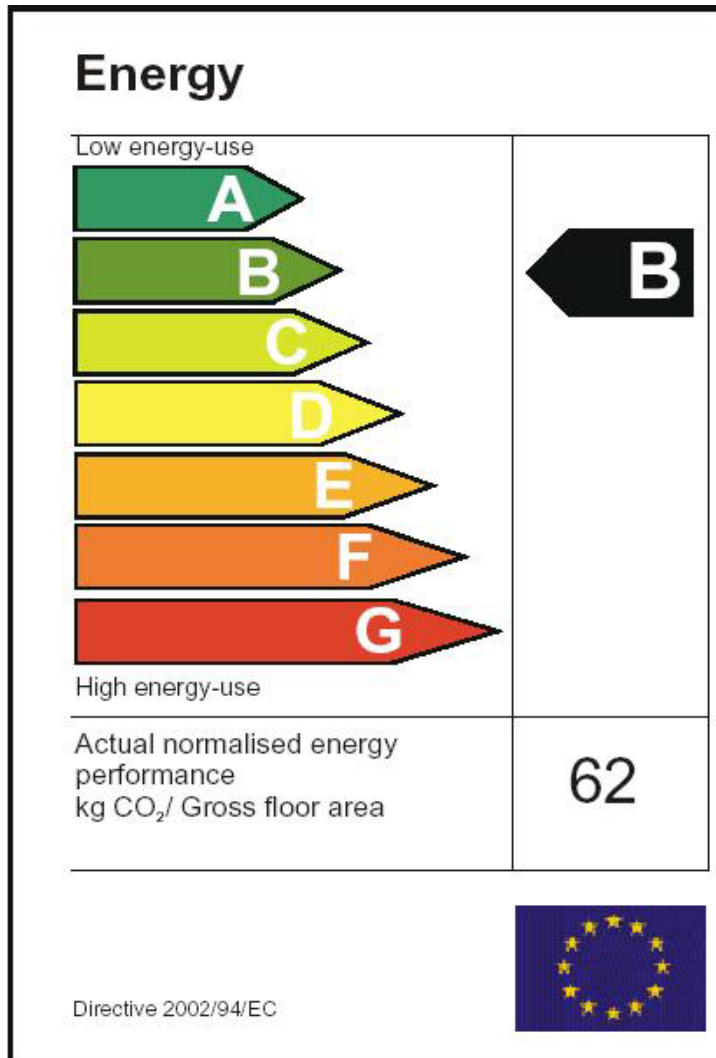
Esempio di certificato energetico

| | | |
|--|--|------------|
| Energy certificate | Building Energy Performance | As built |
| | Space to make reference to the certification scheme used | calculated |
| | <p>Very energy efficient</p> <p>0</p> <p>50</p> <p>100</p> <p>150</p> <p>200</p> <p>250</p> <p>300</p> <p>350</p> <p>400</p> <p>>400</p> <p>Not energy efficient</p> <p>Regulations for new buildings</p> <p>Typical existing building</p> <p>130 kWh/m².a</p> | |
| Space to include additional information on the indicator and building energy use | | |

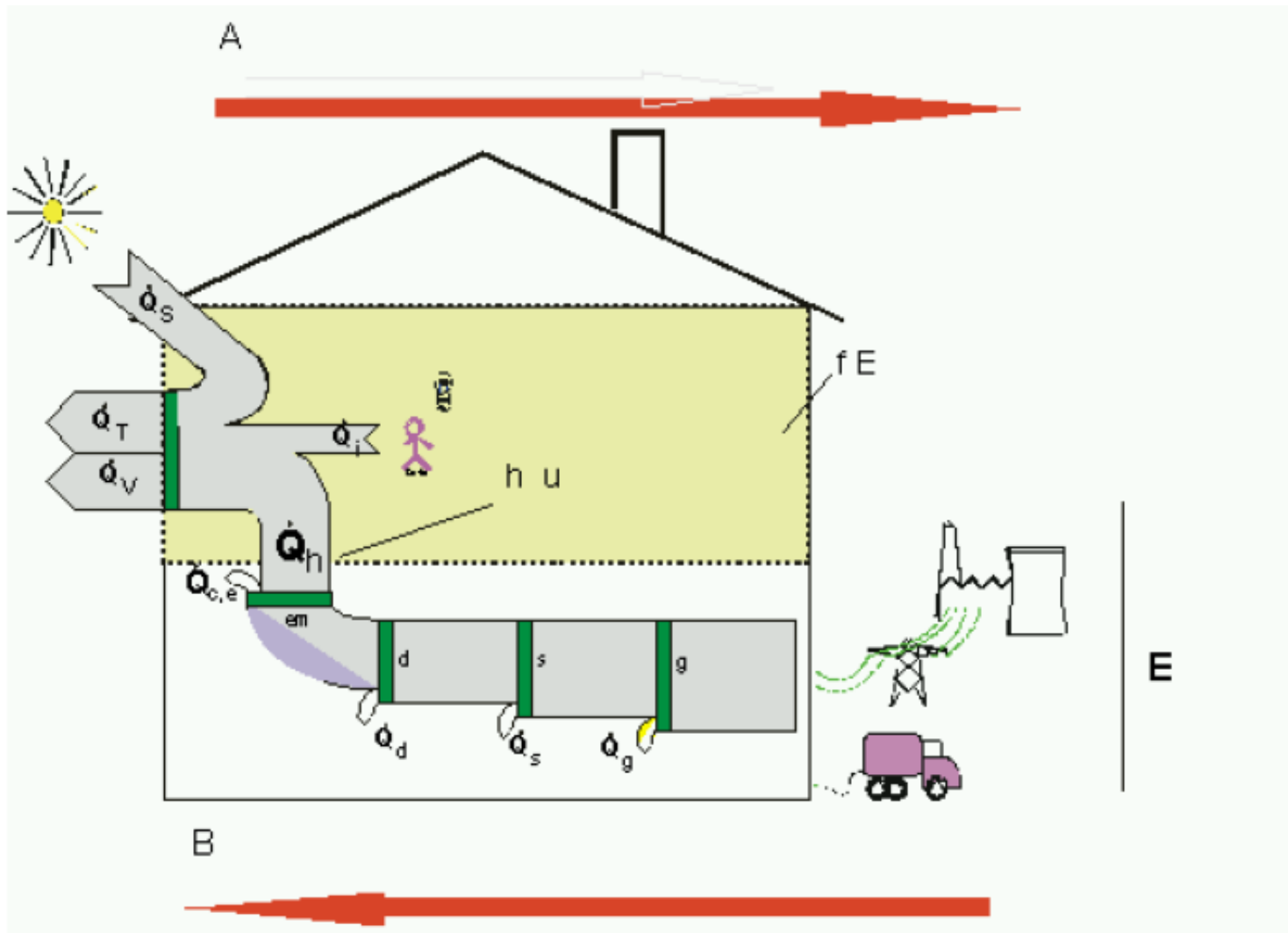
secondo
EN 15217

Administrative information:
address of the building,
conditioned area
date of validity
certifier name and signature...

Esempi di certificato energetico



EN 15316 - Calcolo dei fabbisogni energetici e dei rendimenti impiantistici



EN 15316 - Calcolo dei fabbisogni energetici e dei rendimenti impiantistici

La norma specifica il calcolo delle prestazioni dei seguenti sistemi di produzione termica:

- generatori a combustione;
- pompe di calore;
- sistemi solari termici;
- sistemi di cogenerazione;
- sistemi di teleriscaldamento;
- altri sistemi ad energia rinnovabile.

EN 15378 - Ispezione delle caldaie e degli impianti di riscaldamento

La norma specifica:

- i controlli;
- i metodi di prova;
- gli strumenti di misura.

Sono considerati:

- gli apparecchi erogatori;
- il sistema di distribuzione;
- l’accumulo termico;
- il generatore di calore;
- le apparecchiature di controllo automatico.

EN 15239/15240 - Ispezione degli impianti d'aria condizionata e ventilazione

Le norme specificano le metodologie per l'ispezione degli impianti dal punto di vista del consumo energetico, nonché raccomandazioni su possibili interventi.

L'obiettivo è quello di valutare:

- il corretto dimensionamento dell'impianto;
- il corretto funzionamento dell'impianto;
- l'impatto sul consumo energetico;

EN 15239/15240 - Ispezione degli impianti d'aria condizionata e ventilazione

Le norme prendono in considerazione:

- l'esame della documentazione di base del sistema e dei dettagli tecnici;
- il dimensionamento dell'impianto;
- se il funzionamento del sistema è corretto;
- la realizzazione di un'adeguata IAQ;
- il funzionamento e l'ispezione dei controlli;
- il funzionamento e l'ispezione dei componenti;
- la potenza del ventilatore.

EN 15241/15243 - Fabbisogni degli impianti d'aria condizionata e ventilazione

Le norme definiscono procedure per calcolare:

- le condizioni di mandata dell'aria di ventilazione e i consumi elettrici
- la temperatura, i carichi sensibili e i fabbisogni energetici degli ambienti condizionati
- carichi latenti, fabbisogni di umidificazione e deumidificazione

EN 15251-Criteri per l’amb. interno (amb. termico, IAQ, luce e rumore)

Questa norma definisce:

- i criteri di progetto per il dimensionamento dell’edificio e degli impianti;
- i parametri ambientali interni per i calcoli di prestazione energetica;
- metodi per la valutazione a lungo termine della qualità dell’ambiente interno attraverso calcoli o misure;
- metodi di ispezione e misura dell’ambiente interno negli edifici esistenti;
- classificazione e certificazione dell’ambiente interno.

Criteri di classificazione e certificazione dell’ambiente interno

Si considerano i seguenti fattori ambientali:

- Requisiti termici invernali
- Requisiti termici estivi
- Qualità dell’aria e ventilazione
- Requisiti illuminotecnici
- Requisiti acustici
- Correnti d’aria

Classificazione dell’ambiente interno

Gli ambienti sono classificati in 3 categorie:

- A Alto livello di aspettativa
- B Medio livello di aspettativa
- C Moderato livello di aspettativa

EN 15193 - Fabbisogno di energia per l’illuminazione

Sia per gli edifici nuovi che per quelli esistenti,
questa norma specifica:

- una metodologia per la stima/calcolo dell’energia usata per l’illuminazione (tenendo conto anche della luce naturale)
- un indicatore di fabbisogno per illuminazione da utilizzare nella certificazione energetica degli edifici
- una metodologia di calcolo del consumo dinamico di energia per illuminazione al fine di stimare le prestazioni energetiche globali dell’edificio

EN 15232 - Efficienza energetica mediante sistemi integrati di automazione

La norma definisce le prestazioni, in termini di risparmio energetico, delle:

- funzioni utilizzate nei sistemi integrati di automazione dell’edificio (BACS).
 - es. limitazione di temperatura, optimum start/stop ...
- pratiche utilizzate nella gestione tecnica dell’edificio
 - es. monitoraggi ambientali ed energetici ...

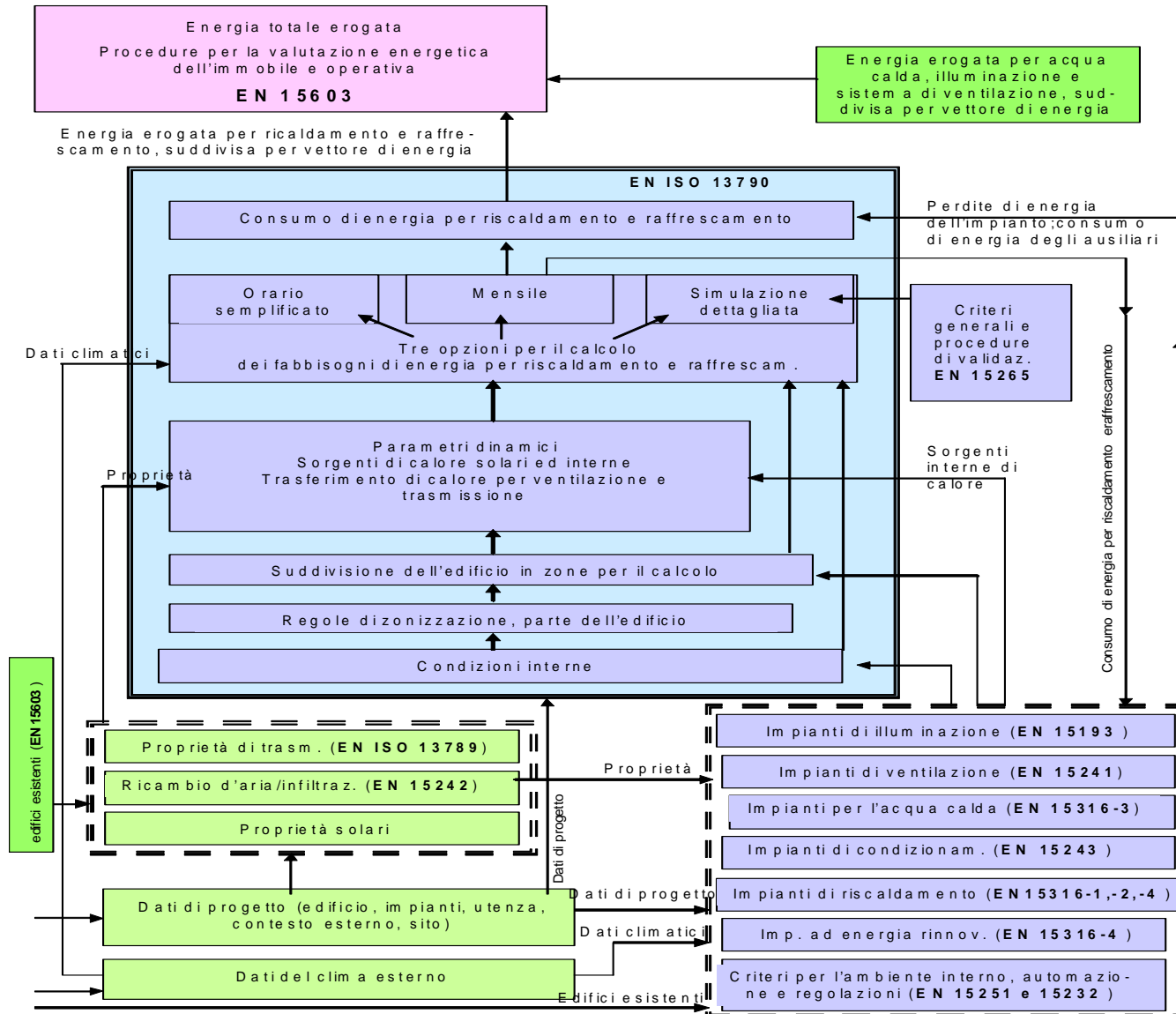
2.

La UNI EN ISO 13790 sul calcolo del fabbisogno energetico degli edifici

Applicazioni della norma UNI EN ISO 13790

- 1) Giudicare la rispondenza a regole tecniche espresse in termini di target energetici (*design rating*);
- 2) Confrontare le prestazioni energetiche di varie alternative progettuali per un edificio progettato (*design rating*);
- 3) Indicare un livello standard di prestazione energetica degli edifici esistenti (*asset rating*);
- 4) Stimare l'effetto di possibili interventi di risparmio energetico su un edificio esistente, attraverso il calcolo dei consumi di energia con e senza l'intervento (*tailored rating*);
- 5) Prevedere i futuri fabbisogni di energia su scala nazionale o internazionale, calcolando i consumi di energia di diversi edifici, rappresentativi del parco edilizio.

Flow-chart della procedura di calcolo e link con altre norme

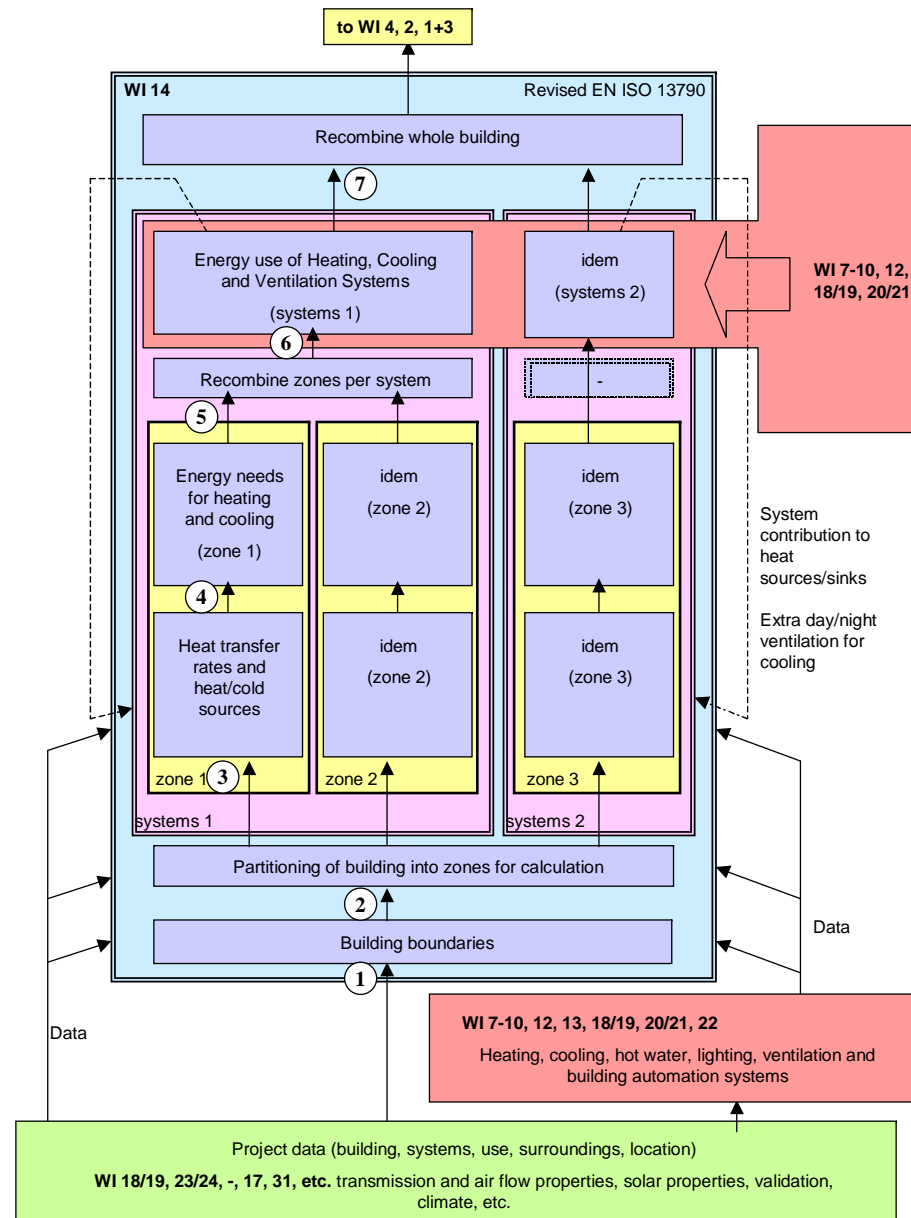


Contenuti della norma UNI EN ISO 13790

Metodi per calcolare:

- lo scambio termico per trasmissione e ventilazione dell’edificio quando riscaldato o raffrescato a temperatura interna costante;
- il contributo delle sorgenti di calore interne e solari al bilancio termico dell’edificio;
- i fabbisogni annuali di energia per riscaldamento e raffrescamento, per mantenere le temperature di set-point specificate nell’edificio;
- l’energia richiesta annualmente dagli impianti di riscaldamento e raffrescamento dell’edificio (le caratteristiche degli impianti di riscaldamento/raffrescamento sono tratte da altre norme europee o internazionali o documenti nazionali);
- l’energia addizionale richiesta annualmente dagli impianti di ventilazione.

Flow-chart della procedura di calcolo



Termini del bilancio di energia dell’edificio (solo sensibile)

- Scambio termico per trasmissione e ventilazione verso l’esterno
- Scambio termico per trasmissione e ventilazione verso zone adiacenti
- Scambio termico per termo-ventilazione meccanica
- Apporti interni di calore
- Apporti di calore di origine solare
- Accumulo del calore nelle strutture
- Fabbisogno di calore per riscaldamento
- Fabbisogno di calore per raffrescamento

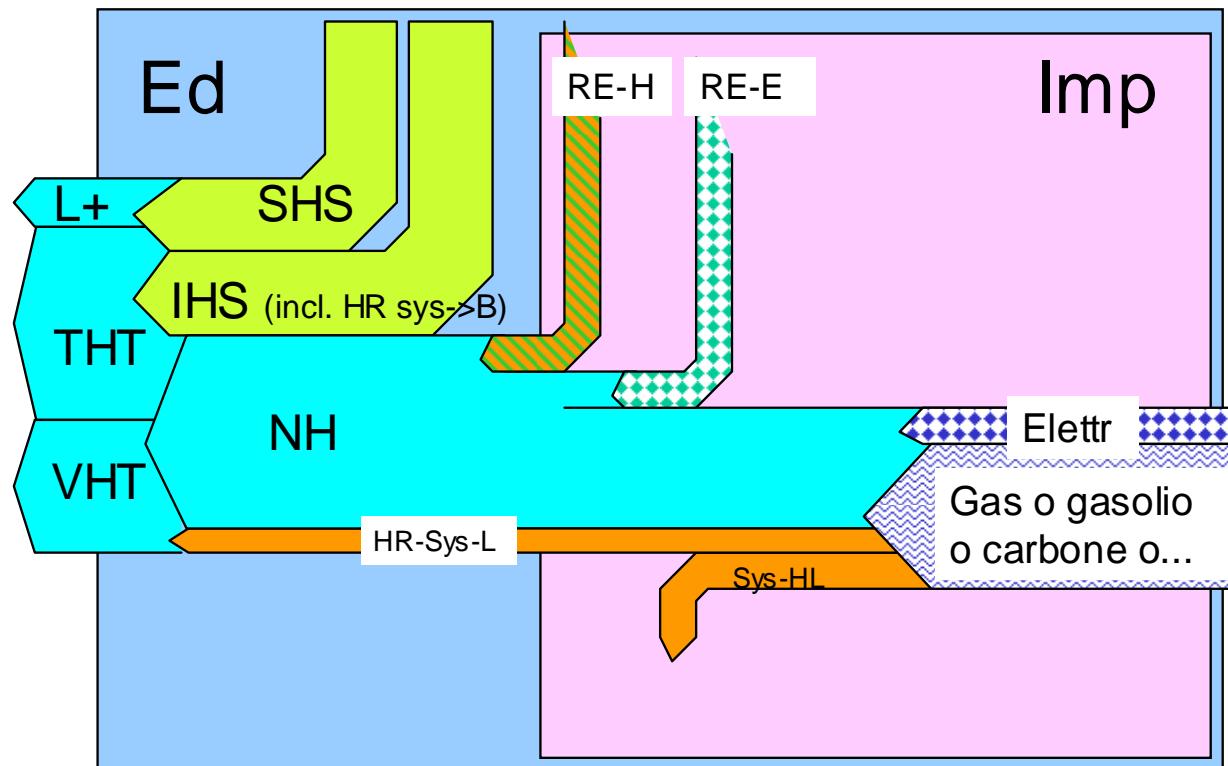
Possibili metodi di calcolo

- Quasi-stazionario
 - stagionale
 - mensile
- Dinamico
 - semplificato
 - dettagliato

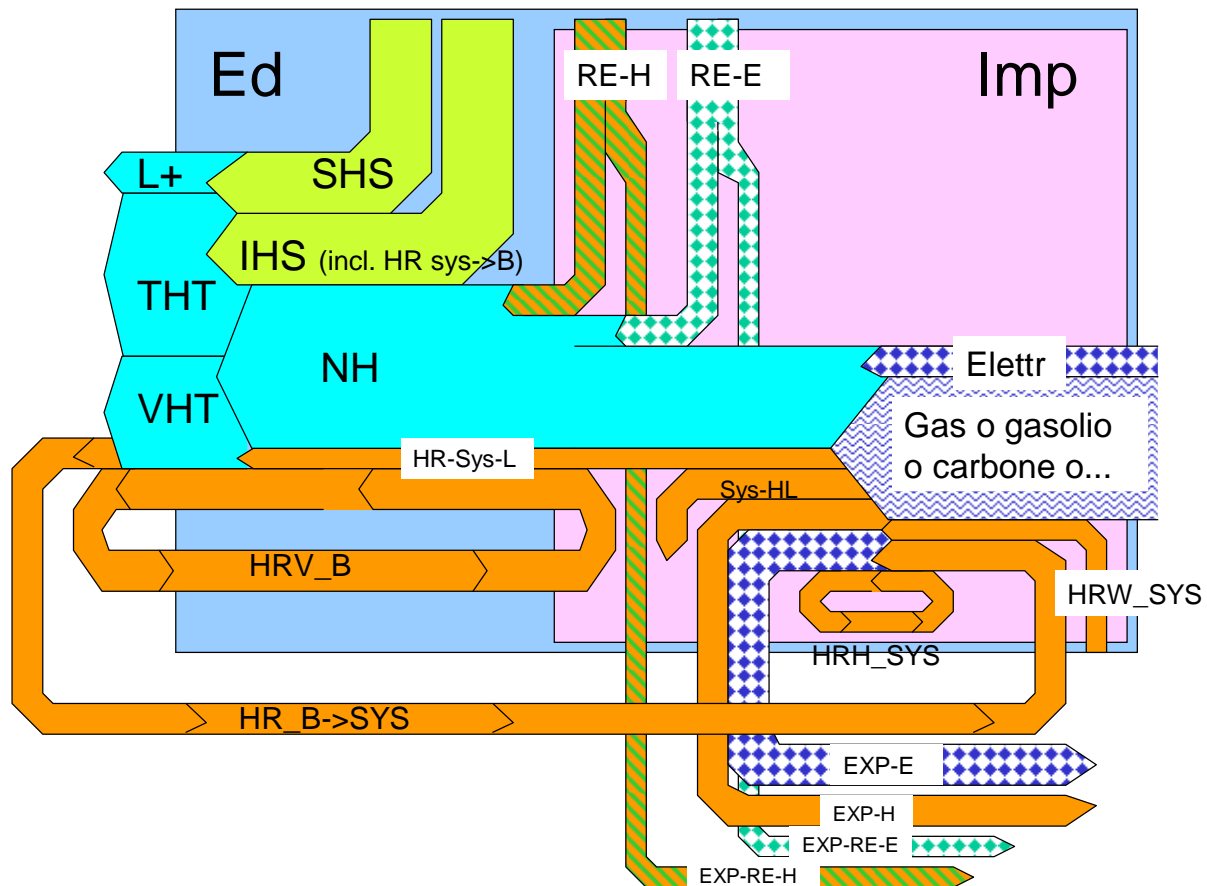
Il problema è come valutare l'effetto dell'inerzia termica dell'edificio sulle sollecitazioni dinamiche

⇒ Uso di parametri dinamici

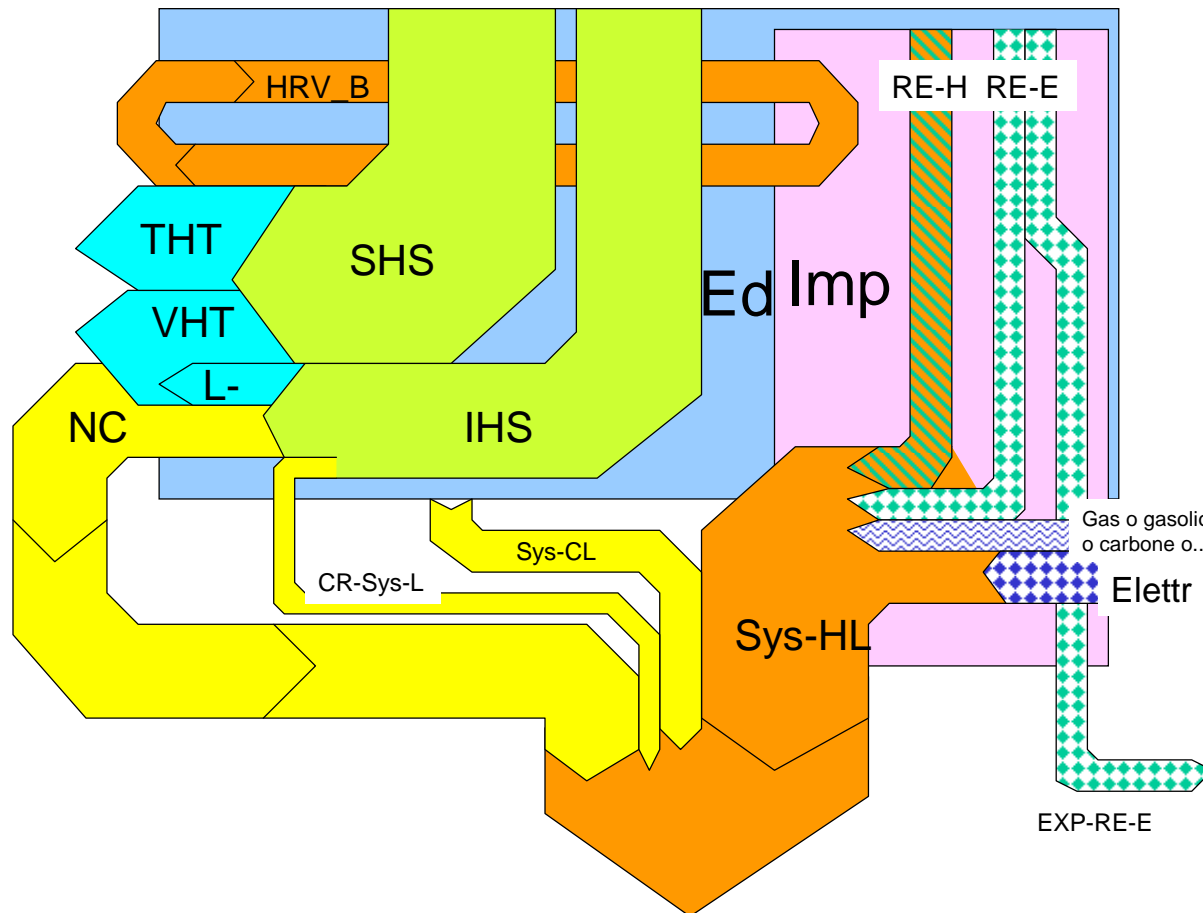
Bilancio di energia del sist. edificio- impianto – Riscaldamento (semplif.)



Bilancio di energia del sistema edificio- impianto - Riscaldamento



Bilancio di energia del sistema edificio impianto - Raffrescamento



Zonizzazione termica dell'edificio

Tre alternative:

- L'intero edificio è modellato come un'unica zona termica

⇒

$$\theta_i = \frac{\sum_s A_{fl,s} \theta_{i,s}}{\sum_s A_{fl,s}}$$

- L'edificio è suddiviso in zone termiche senza alcun accoppiamento termico tra le stesse
- L'edificio è suddiviso in zone termiche con accoppiamento termico tra le stesse

Fattori che richiedono la zonizzazione dell’edificio

- Zone con temperature di set-point differenziate di oltre 4 °C
- Zone servite da diversi impianti di riscaldamento o raffrescamento o ventilazione meccanica
- Zone con tassi di ventilazione (riferiti alla superficie di pavimento) differenziati di un fattore superiore a 4

Metodo quasi stazionario

Fabbisogno di energia per riscaldamento

$$Q_{H,nd} = Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} \cdot Q_{gn}$$

Fabbisogno di energia per raffrescamento

$$Q_{C,nd} = Q_{gn} - \eta_{C,ls} \cdot Q_{C,ht}$$

Durata del periodo di riscaldamento/raffrescamento

Può essere

- fissato per legge in funzione della zona climatica e della categoria di edificio:
- calcolato attraverso un bilancio di energia:

– riscaldamento → $\theta_{e,day} \leq \theta_{int,set,H} - (\eta_1 \cdot Q_{gn,day}) / (H_L \cdot t_{day})$

– raffrescamento → $\theta_{e,day} \geq \theta_{int,set,C} - (\eta_1 \cdot Q_{gn,day}) / (H_L \cdot t_{day})$

Metodo mensile: fattore di utilizzazione degli apporti gratuiti

- Riscaldamento

- $\eta_{H,gn} = (1 - \gamma_H^{a_H}) / (1 - \gamma_H^{a_H+1})$ se $\gamma_H \neq 1$

- $\gamma_H = Q_{H,gn} / Q_{H,ht}$

- $a_H = a_{0,H} + \tau_H / \tau_{0,H}$

- Raffrescamento

- $\eta_{C,ls} = (1 - \lambda_C^{a_C}) / (1 - \lambda_C^{a_C+1})$ se $\lambda_C \neq 1$ e $\lambda_C > 0$

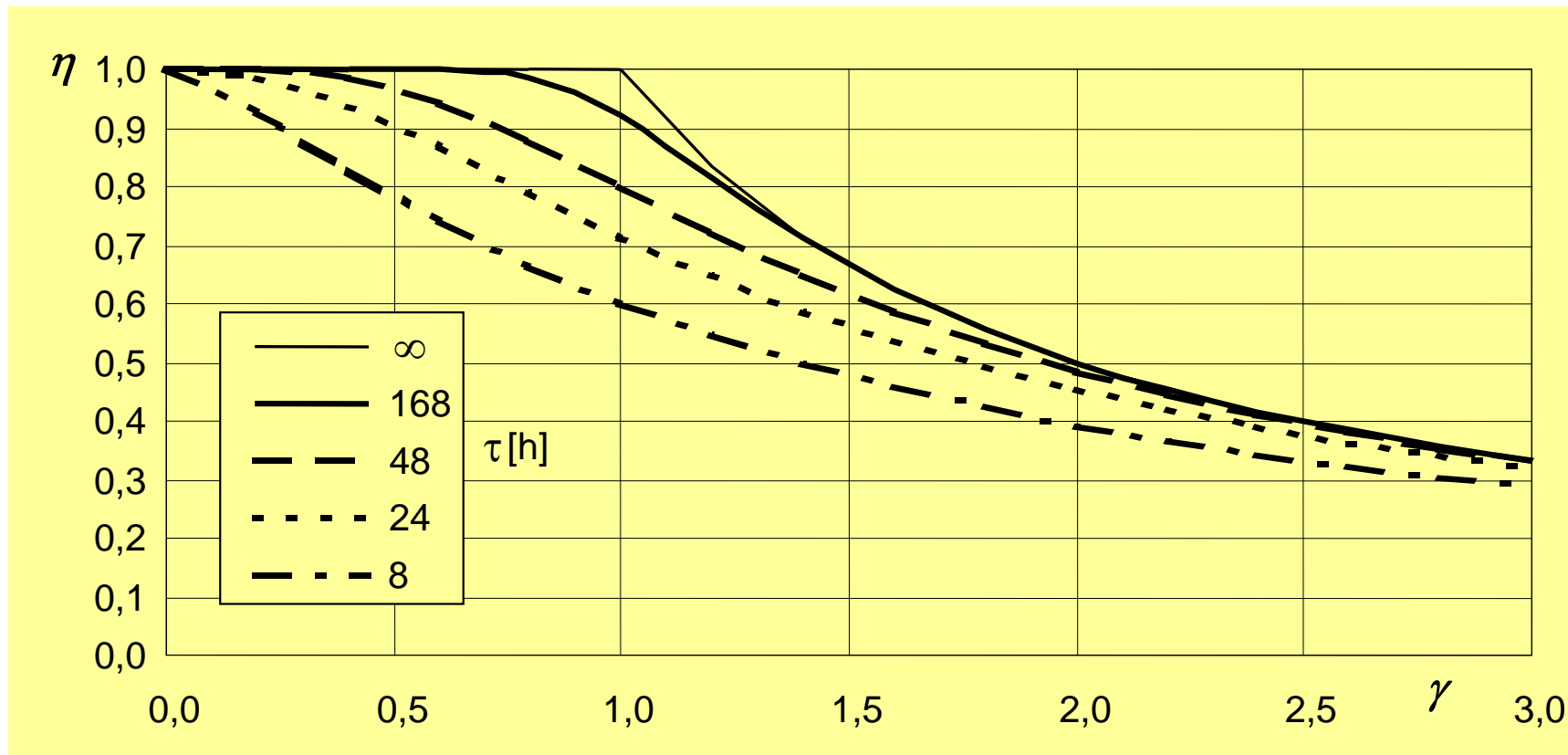
- $\eta_{C,ls} = 1$ se $\lambda_C < 0$

- $\lambda_C = Q_{C,ht} / Q_{C,gn}$

- $a_C = a_{0,C} + \tau_C / \tau_{0,C}$

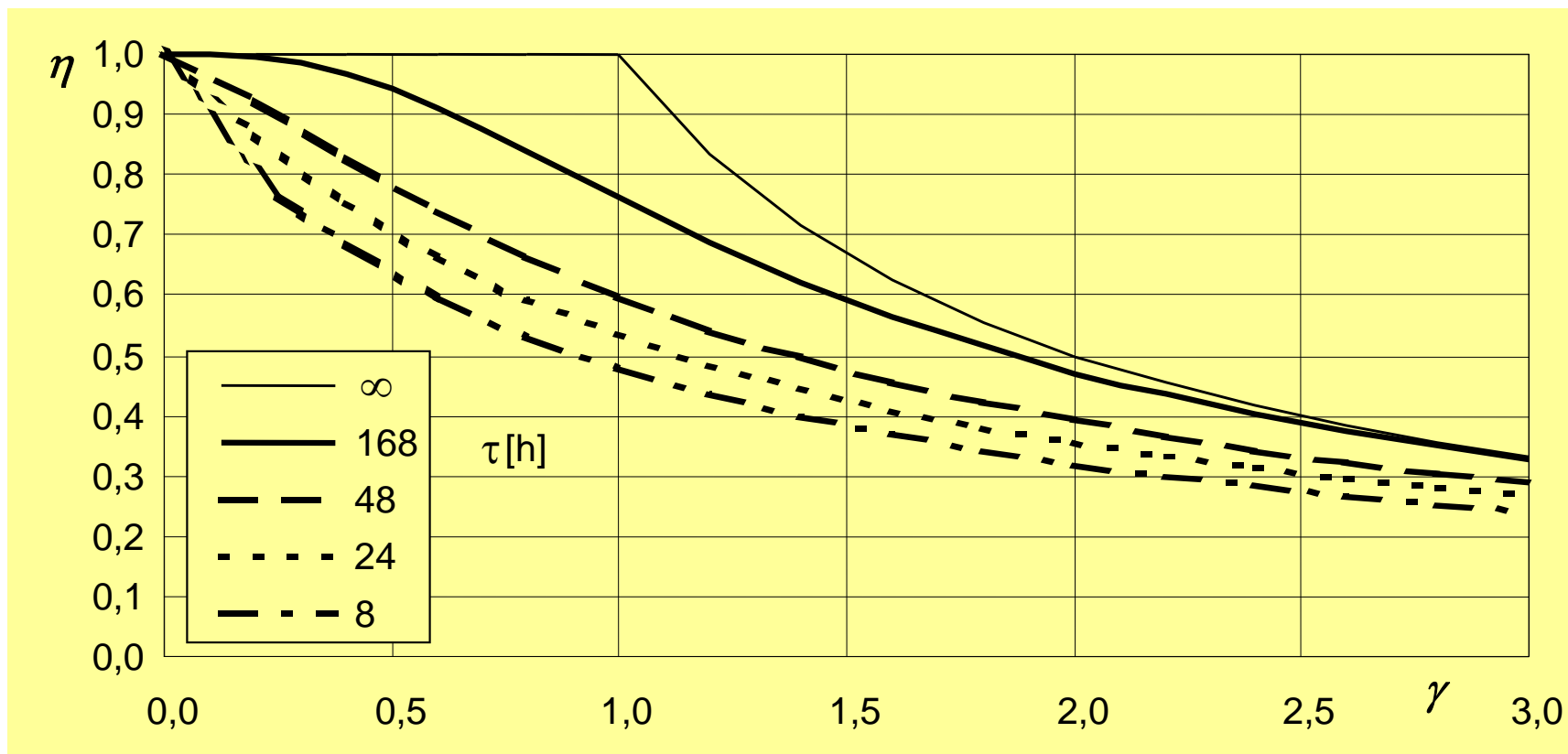
Metodo mensile: fattore di utilizzazione per il riscaldamento

Durata giornaliera di riscaldamento superiore a 12 ore:
edifici residenziali



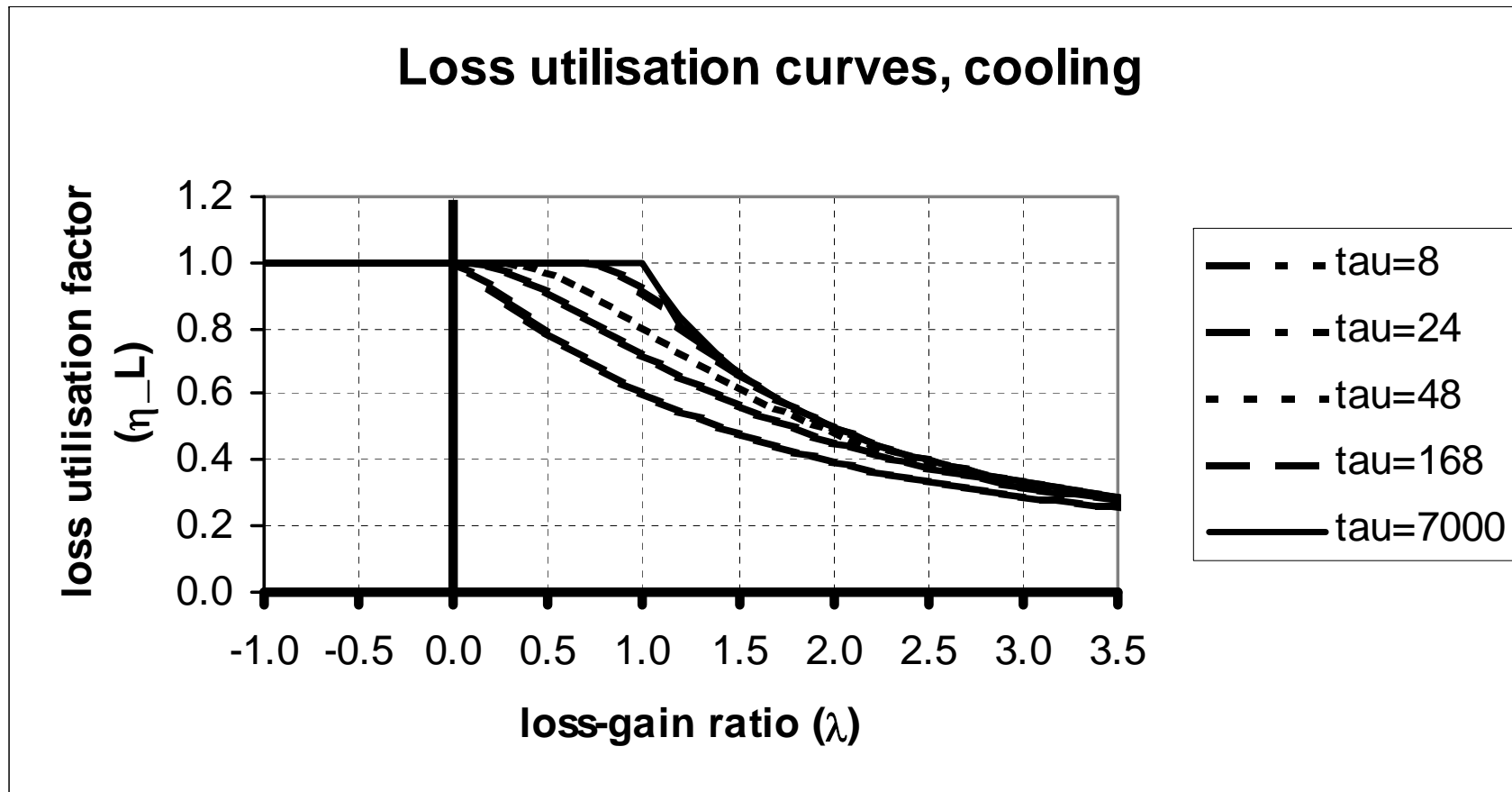
Metodo mensile: fattore di utilizzazione per il riscaldamento

Durata giornaliera di riscaldamento inferiore a 12 ore:
edifici per il terziario



Metodo mensile: fattore di utilizzazione per il raffrescamento

Durata giornaliera di raffrescamento superiore a 12 ore:
edifici residenziali

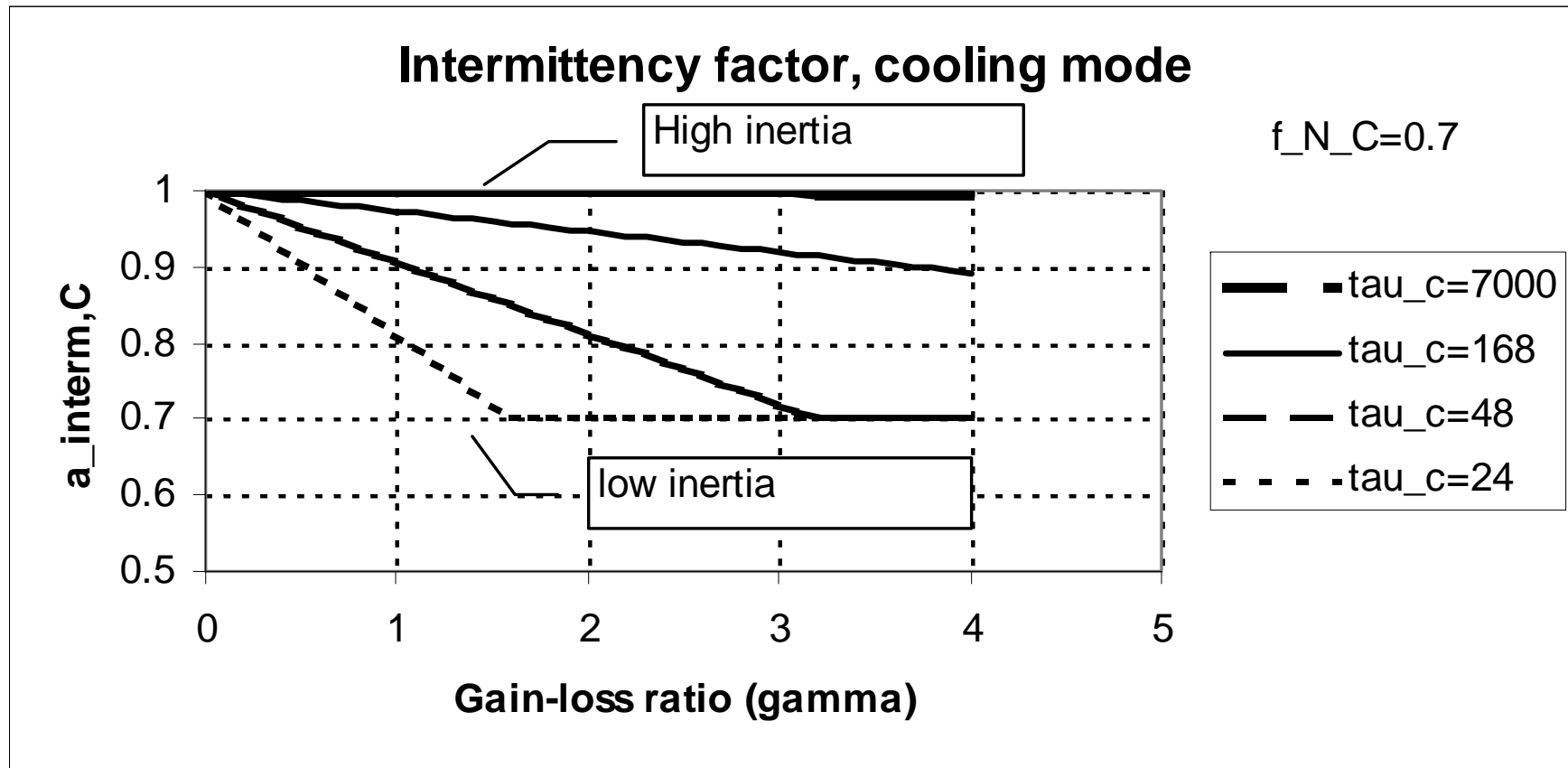


Metodo mensile: correzione per l’intermittenza (riscaldamento)

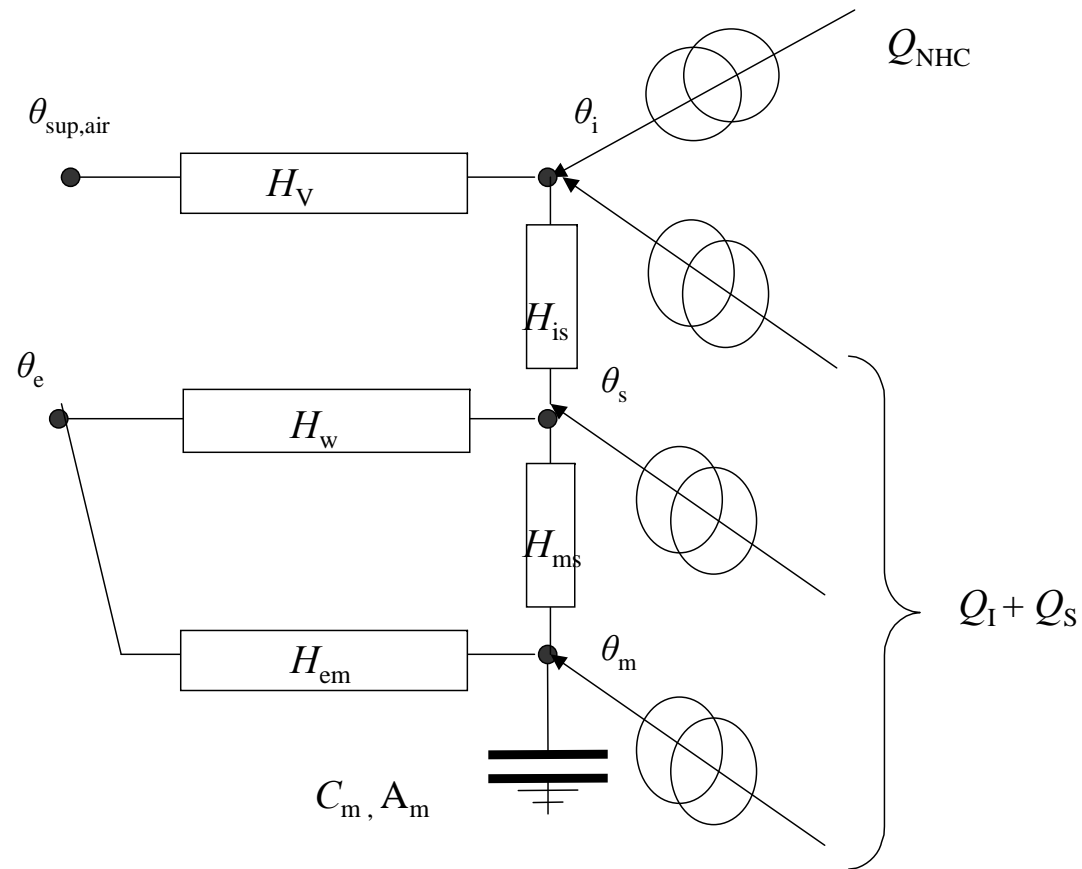
Il periodo di riscaldamento ridotto è caratterizzato da:

- la sua durata;
- il numero di volte che quel tipo di periodo si verifica nel periodo di calcolo;
- il modo di intermittenza:
- la temperatura di set-back.

Metodo mensile: fattore di intermittenza per il raffrescamento



Metodo orario semplificato



Appendici

- A. Procedure parallele nei riferimenti normativi
- B. Calcolo multi-zona con accoppiamento termico tra zone
- C. Tutte le equazioni del metodo orario semplificato
- D. Formulazione alternativa per il metodo mensile relativo al raffrescamento
- E. Dispersioni termiche e apporti solari di componenti speciali
- F. Dati climatici
- G. Metodi semplificati e dati di ingresso precalcolati
- H. Accuratezza del metodo
- I. Spiegazione ed origine dei fattori di utilizzazione mensili e stagionali
- J. Esempio svolto di calcolo
- K. Diagramma di flusso della procedura di calcolo

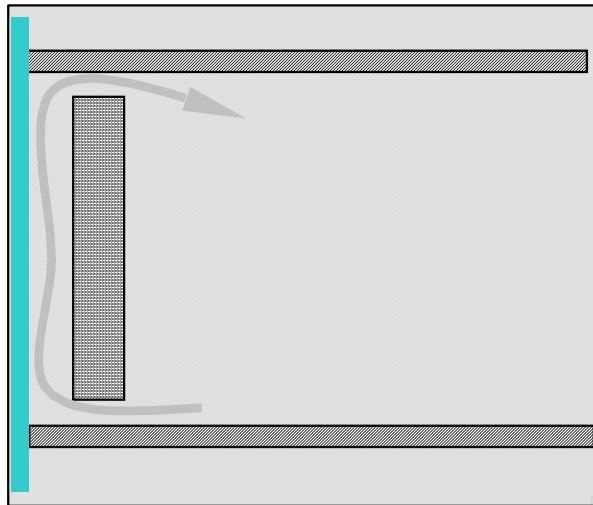
Calcolo multi-zona

Metodo mensile

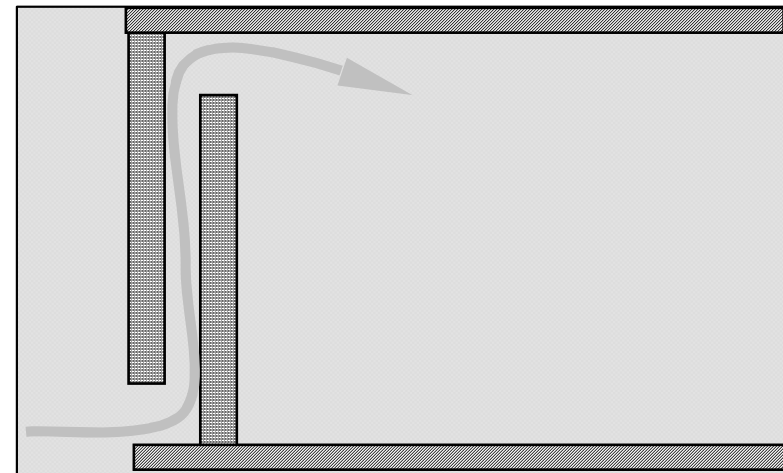
- Per ogni zona termica occorre aggiungere i termini di scambio termico verso altre zone per trasmissione e per ventilazione
- Le temperature delle zone da e verso le quali avviene lo scambio termico devono essere ricalcolate attraverso un'equazione di bilancio termico
- Il calcolo diviene quindi iterativo

Dispersioni termiche di componenti speciali

Parete solare ventilata

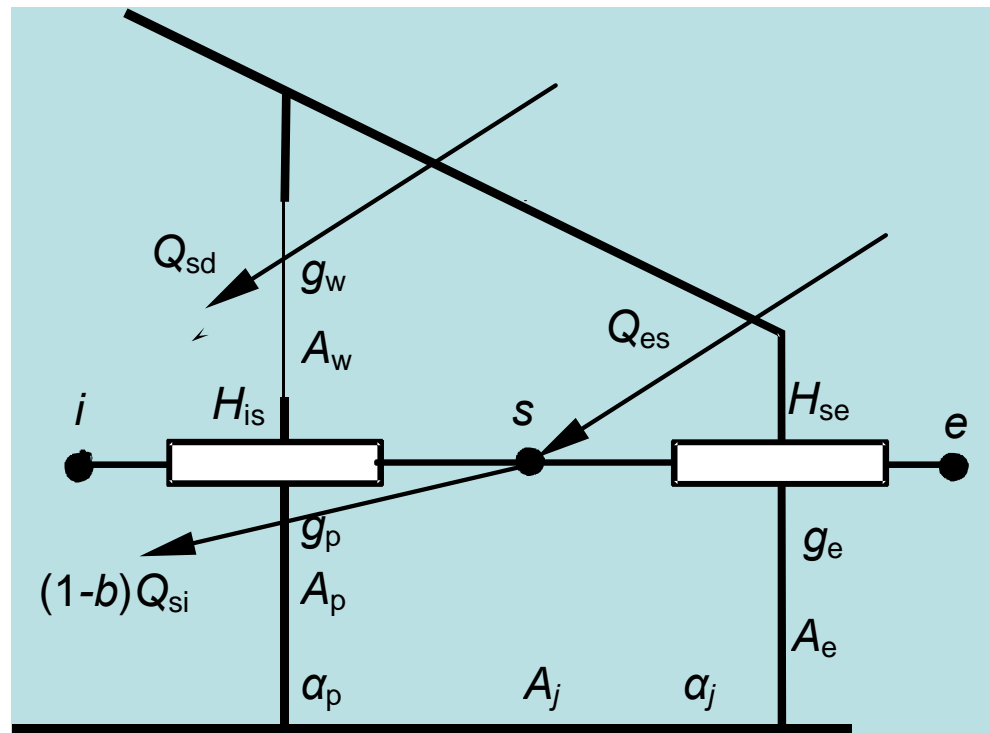


Componenti ventilati



Apporti solari di componenti speciali

Serra solare



Dati climatici

- Dati richiesti
 - lunghezza di ciascun periodo di calcolo
 - temperatura dell’aria esterna
 - radiazione solare globale sul piano orizzontale
- Dati opzionali
 - velocità del vento
 - direzione del vento
 - albedo
 - umidità relativa dell’aria esterna
- Normativa di riferimento per il calcolo e la presentazione dei dati climatici

Dati per il calcolo degli apporti solari

- Trasmittanza solare totale della vetrata
 - Valori tipici
 - Fattore di esposizione
- Effetto di tendaggi permanenti
- Fattori di correzione per ombreggiamento
 - Ombreggiamento da elementi esterni
 - Aggetti ed alette

Dati di input convenzionali

Per diverse categorie di edifici:

- Apporti di calore da occupanti
- Apporti termici da apparecchiature
- Profili di occupazione

- Fattori di riduzione per schermi solari mobili

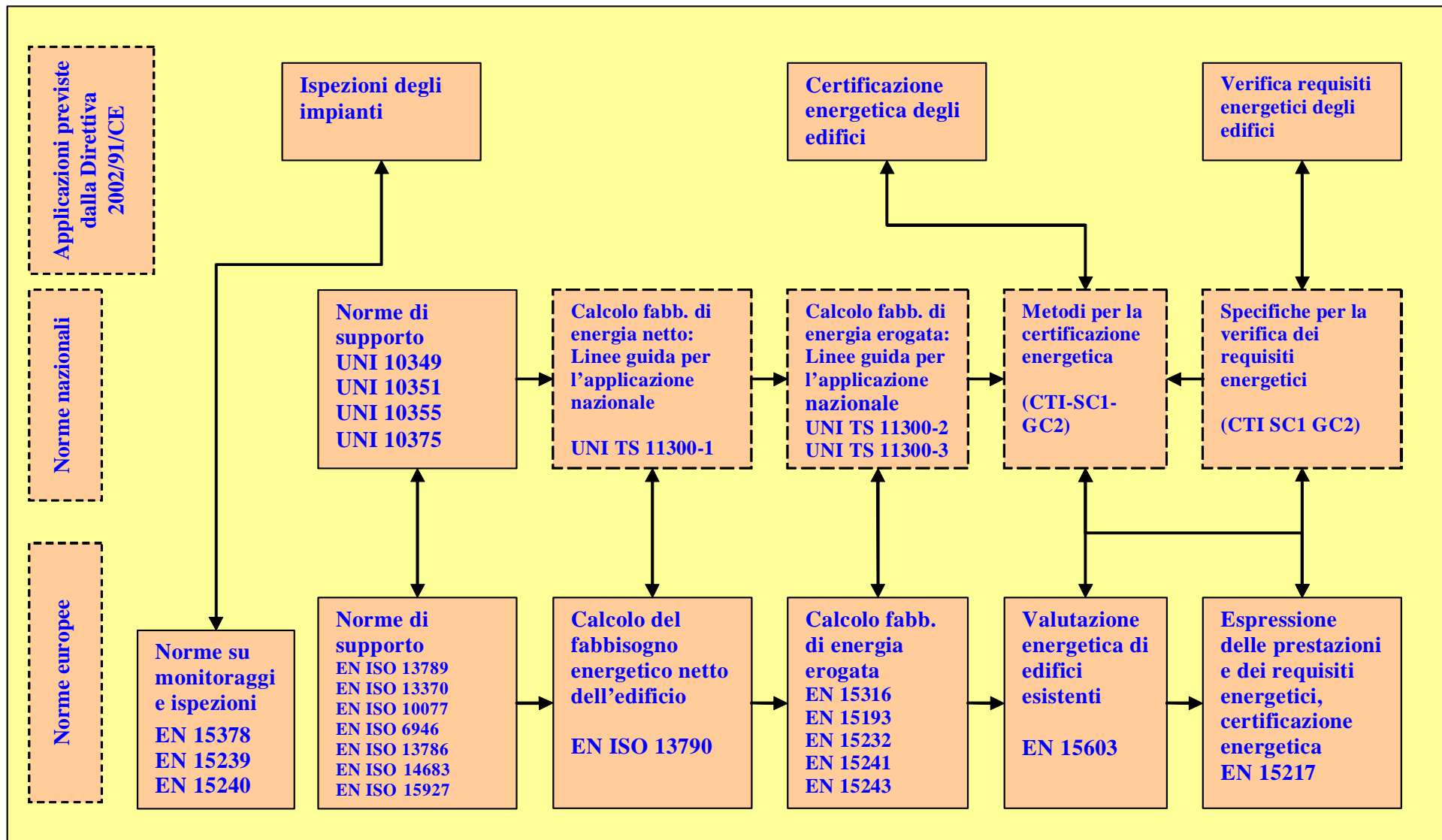
Accuratezza del metodo

- L’accuratezza del metodo dipende dalla qualità dei dati di input
- L’incertezza del risultato aumenta quando gli apporti gratuiti sono rilevanti
- Il metodo di calcolo non è indicato per effettuare una previsione accurata dei consumi reali
- Il metodo di calcolo è particolarmente indicato per valutare il rispetto di requisiti energetici o per confrontare diverse soluzioni progettuali
- Vi sono alcuni gradi di libertà (es. convenzione per dimensioni, scelta del numero di zone).

3.

La norma UNI TS 11300-1

Norme europee e nuove norme italiane



Le nuove norme UNI TS 11300

- Prestazioni energetiche degli edifici
 - Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell’edificio per la climatizzazione estiva ed invernale – Maggio 2008
 - Parte 2: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria – Maggio 2008
 - Parte 3: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione estiva (in inchiesta pubblica)
 - Parte 4: Utilizzo di energie rinnovabili e di altri metodi di generazione per riscaldamento di ambienti e preparazione acqua calda sanitaria (in corso di elaborazione)

UNI/TS 11300-1 - Fabbisogno di energia termica per riscaldamento e raffrescamento

- Descrizione sintetica della procedura di calcolo
- Dati di ingresso per i calcoli
- Zonizzazione e accoppiamento termico tra zone
- Temperatura interna
- Dati climatici
- Durata della stagione di riscaldamento e raffrescamento
- Parametri di trasmissione termica
- Ventilazione
- Apporti termici interni
- Apporti termici solari
- Parametri dinamici

Tipi di valutazione energetica

| Tipo di valutazione | Dati di ingresso | | | Scopo della valutazione |
|---|-------------------------|----------|----------|--|
| | Uso | Clima | Edificio | |
| Di progetto (<i>Design Rating</i>) | Standard | Standard | Progetto | Permesso di costruire, Certificazione o qualificazione energetica del progetto |
| Standard (<i>Asset Rating</i>) | Standard | Standard | Reale | Certificazione o qualificazione energetica |
| Adattata all'utenza (<i>Tailored rating</i>) | In funzione dello scopo | | Reale | Ottimizzazione, Validazione, Diagnosi e programmazione di interventi di riqualificazione |

Procedura di calcolo

- 1) Definizione dei confini dell'insieme degli ambienti climatizzati e non climatizzati dell'edificio.
- 2) Se richiesta, definizione dei confini delle diverse zone di calcolo.
- 3) Definizione delle condizioni interne di calcolo e dei dati di ingresso relativi al clima esterno.
- 4) Calcolo, per ogni mese e per ogni zona dell'edificio, dei fabbisogni netti di energia per il riscaldamento ($Q_{H,nd}$) e raffrescamento ($Q_{C,nd}$).
- 5) Aggregazione dei risultati relativi ai diversi mesi ed alle diverse zone servite dagli stessi impianti.

Calcolo del fabbisogno di energia netto per riscaldamento e raffrescamento

- Per ogni zona dell'edificio e per ogni mese:

$$\begin{aligned}
 - \quad Q_{H,nd} &= Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} \cdot Q_{gn} \\
 &= (Q_{H,tr} + Q_{H,ve}) - \eta_{H,gn} \cdot (Q_{int} + Q_{sol})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 - \quad Q_{C,nd} &= Q_{gn} - \eta_{C,ls} \cdot Q_{C,ht} \\
 &= (Q_{int} + Q_{sol}) - \eta_{C,ls} \cdot (Q_{C,tr} + Q_{C,ve})
 \end{aligned}$$

Calcolo degli scambi termici

- Nel caso di riscaldamento:
 - $Q_{H,tr} = [H_{tr,adj} \cdot (\theta_{int,set,H} - \theta_e) + (\sum_k F_{r,k} \cdot \Phi_{r,mn,k})] \cdot t$
 - $Q_{H,ve} = H_{ve,adj} \cdot (\theta_{int,set,H} - \theta_e) \cdot t$

- Nel caso di raffrescamento:
 - $Q_{C,tr} = [H_{tr,adj} \cdot (\theta_{int,set,C} - \theta_e) + (\sum_k F_{r,k} \cdot \Phi_{r,mn,k})] \cdot t$
 - $Q_{C,ve} = H_{ve,adj} \cdot (\theta_{int,set,C} - \theta_e) \cdot t$

Coefficienti di scambio termico

- I coefficienti globali di scambio termico si ricavano come:

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

$$- H_{ve,adj} = \rho_a \cdot c_a \cdot \{ \sum_k b_{ve,k} \cdot q_{ve,k,mn} \}$$

- La portata mediata sul tempo del flusso d'aria k -esimo, $q_{ve,k,mn}$, espressa in m^3/s , si ricava come:

$$\bullet q_{ve,k,mn} = f_{ve,t,k} \cdot q_{ve,k}$$

Irraggiamento verso la volta celeste

$$\Phi_r = R_{se} U_c A_c h_r \Delta\theta_{er}$$

R_{se} è la resistenza termica liminare esterna dell'elemento, in m^2K/W

U_c è la trasmittanza termica dell'elemento, in W/m^2K

A_c è l'area proiettata dell'elemento, in m^2

h_r è il coefficiente di scambio termico per irraggiamento, in W/m^2K

$\Delta\theta_{er}$ è la differenza media tra la temperatura dell'aria esterna e la temperatura apparente della volta celeste, assunta pari a 11 K

Calcolo degli apporti termici

- Gli apporti termici interni si ricavano come:

$$Q_{\text{int}} = \left\{ \sum_k \Phi_{\text{int,mn},k} \right\} \cdot t + \left\{ \sum_l (1 - b_{\text{tr},l}) \Phi_{\text{int,mn},u,l} \right\} \cdot t$$

- Gli apporti termici solari si ricavano come:

$$Q_{\text{sol}} = \left\{ \sum_k \Phi_{\text{sol,mn},k} \right\} \cdot t + \left\{ \sum_l (1 - b_{\text{tr},l}) \Phi_{\text{sol,mn},u,l} \right\} \cdot t$$

Apporti solari

$$\Phi_{\text{sol},k} = F_{\text{sh,ob},k} A_{\text{sol},k} I_{\text{sol},k}$$

$$A_{\text{sol}} = F_{\text{sh,gl}} g_{\text{gl}} (1 - F_{\text{F}}) A_{\text{w,p}} \quad (\text{componenti trasparenti})$$

$$A_{\text{sol}} = a_{\text{S,c}} R_{\text{se}} U_{\text{c}} A_{\text{c}} \quad (\text{componenti opachi})$$

Dati di ingresso per i calcoli

- Dati relativi alle caratteristiche tipologiche dell’edificio
 - volume lordo e volume netto dell’ambiente climatizzato;
 - la superficie utile (o netta calpestabile) dell’ambiente climatizzato
 - superfici di tutti i componenti dell’involucro e della struttura edilizia;
 - tipologie e le dimensioni dei ponti termici
 - orientamenti di tutti i componenti dell’involucro edilizio;
 - caratteristiche geometriche di tutti elementi esterni (altri edifici, aggetti, etc.) che ombreggiano i componenti trasparenti dell’involucro edilizio.

Dati di ingresso per i calcoli

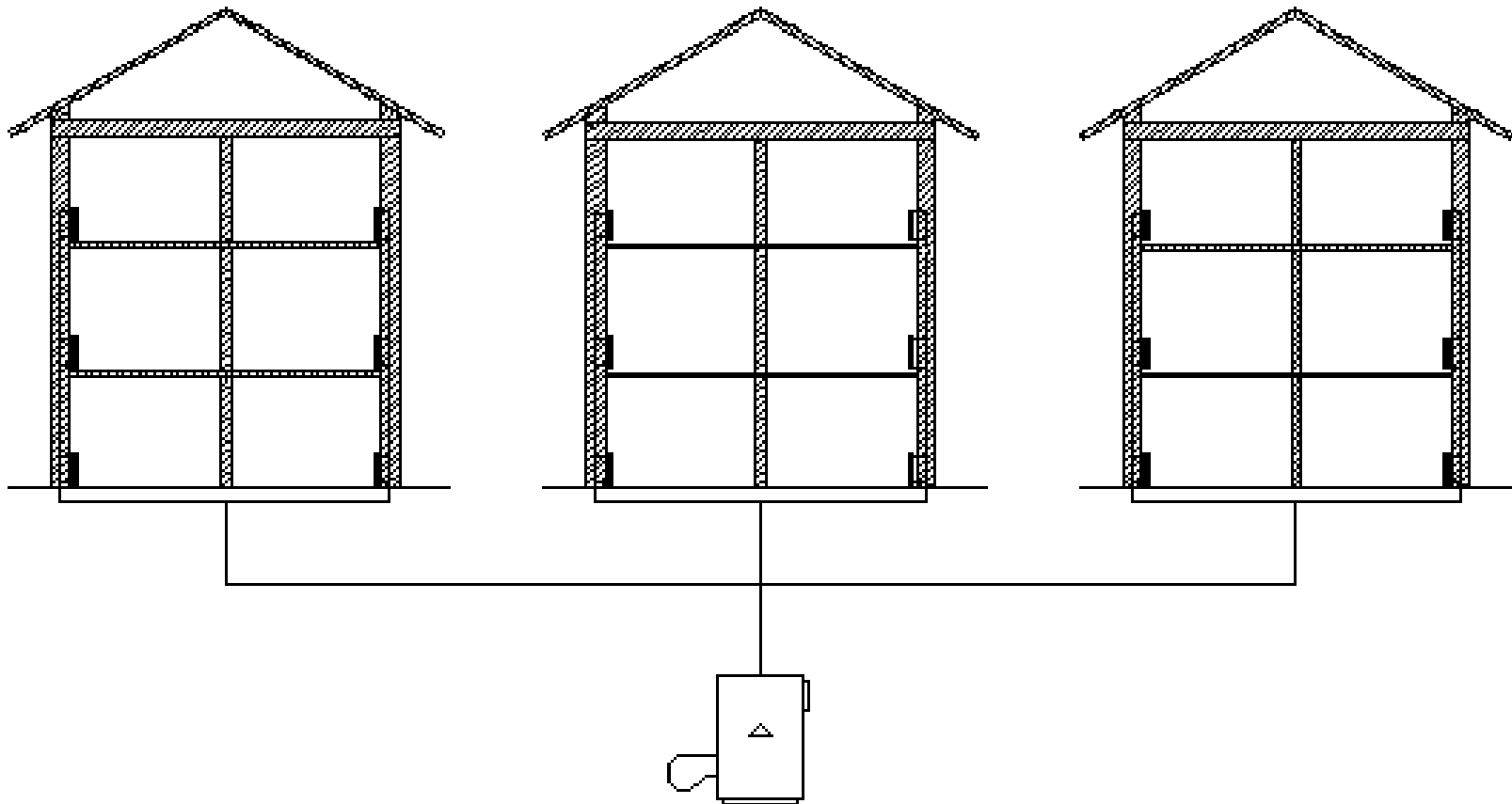
- Dati relativi alle caratteristiche termiche e costruttive dell'edificio
 - trasmittanza termica dei componenti dell'involucro edilizio
 - capacità termica areica dei componenti della struttura
 - trasmittanza di energia solare totale dei componenti trasparenti
 - i fattori di assorbimento solare delle facce esterne dei componenti opachi dell'involucro edilizio
 - le emissività delle facce esterne dei componenti dell'involucro edilizio
 - fattori di riduzione della trasmittanza di energia solare totale dei componenti trasparenti dell'involucro edilizio in presenza di schermature mobili
 - fattori di riduzione dovuti al telaio dei componenti trasparenti
 - coefficienti di trasmissione lineare dei ponti termici

Dati di ingresso per i calcoli

- Dati climatici
 - medie mensili di temperatura esterna
 - medie mensili dell’irraggiamento solare totale per ciascun orientamento
- Dati relativi alle modalità di occupazione e di utilizzo dell’edificio
 - temperature di set-point (riscaldamento, raffrescamento)
 - numero di ricambi d’aria
 - tipo di ventilazione e di regolazione della portata
 - durata dei periodi di raffrescamento e riscaldamento
 - regime di funzionamento dell’impianto termico;
 - modalità di gestione delle chiusure oscuranti
 - modalità di gestione delle schermature mobili
 - apporti di calore interni

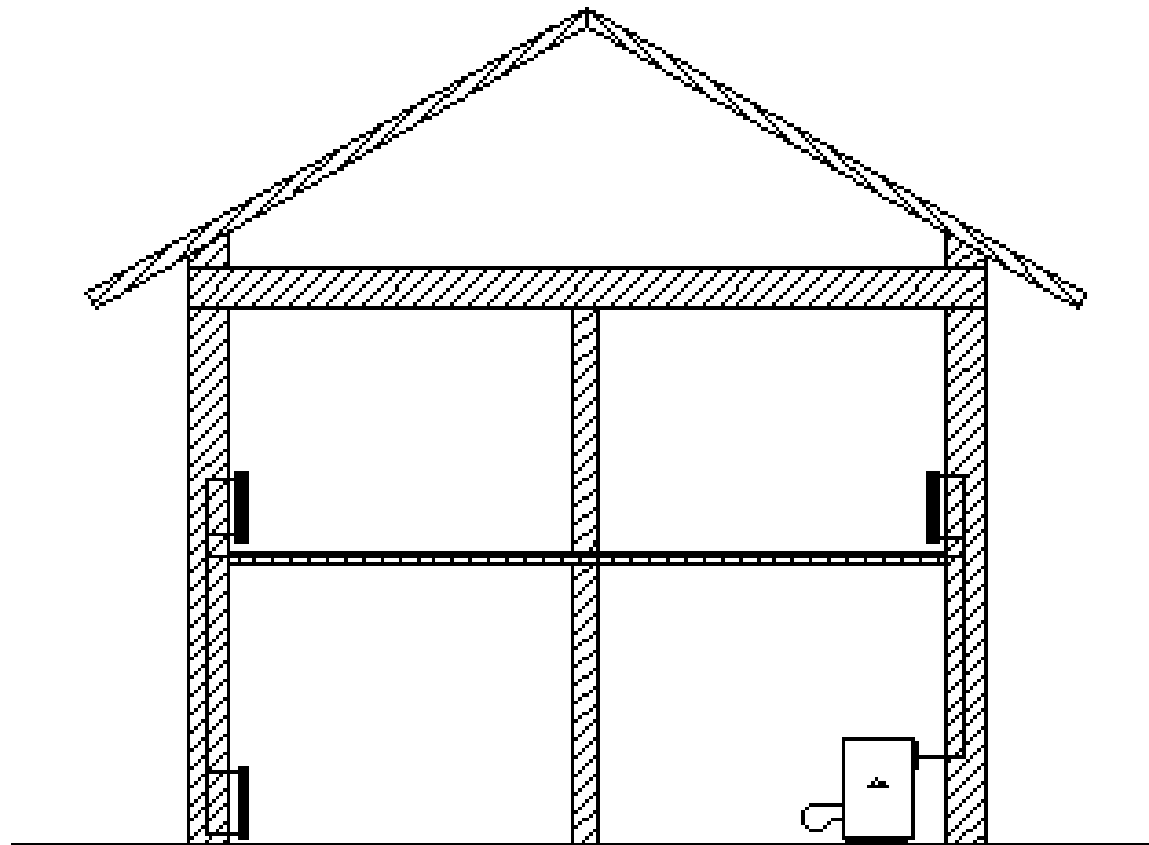
Individuazione del sistema edificio-impianto

Più edifici serviti da un'unica centrale termica

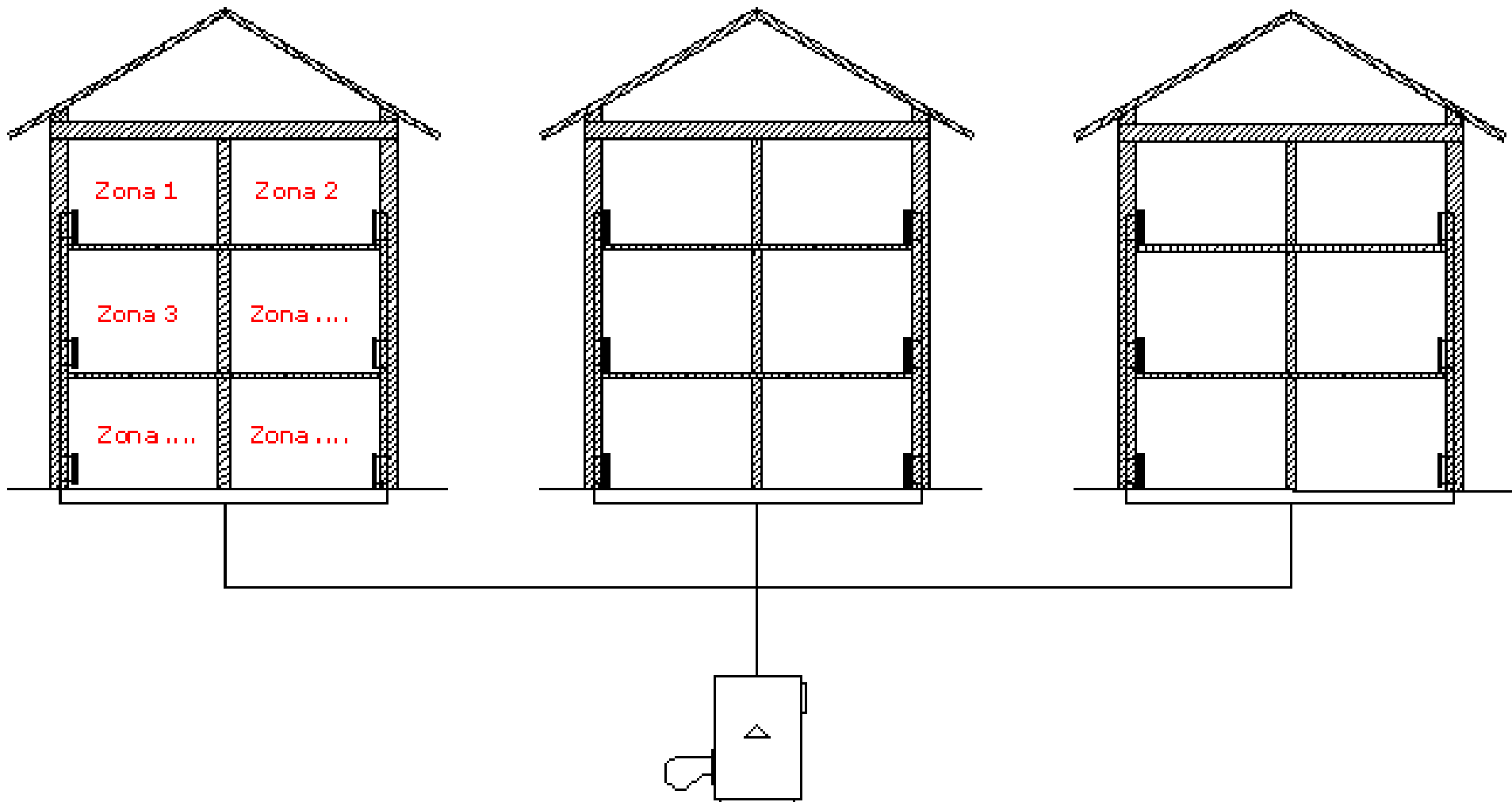


Individuazione del sistema edificio-impianto

Edificio servito da un'unica centrale termica



Regole di suddivisione dell'edificio

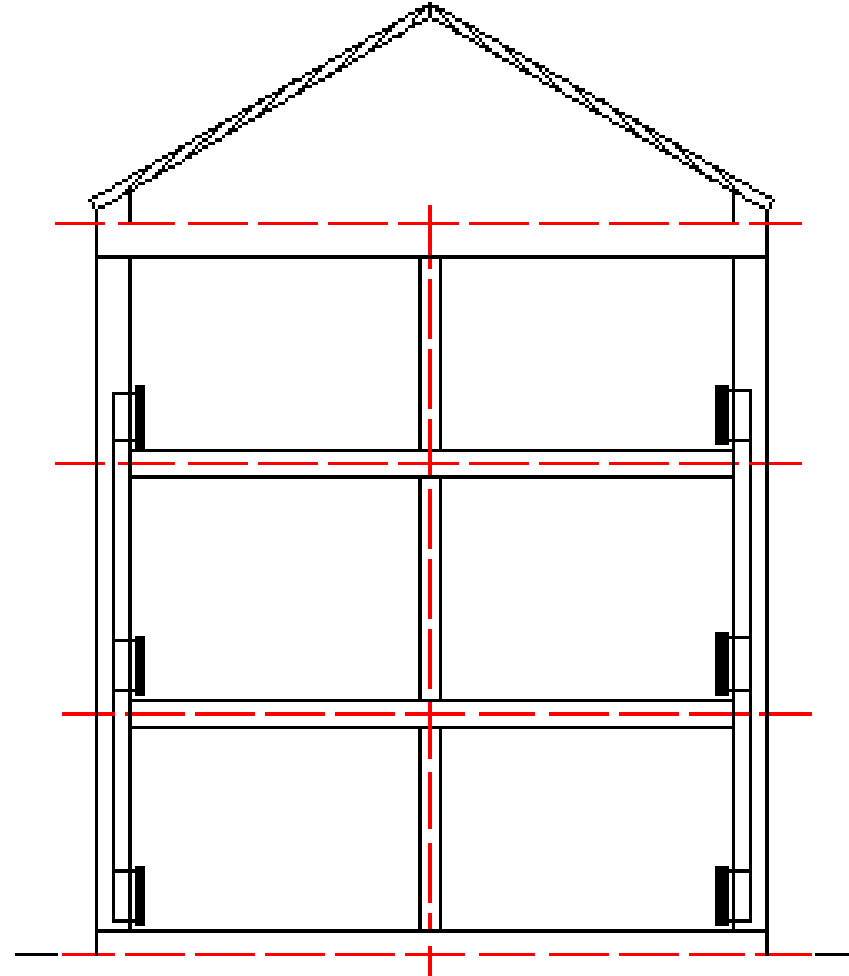


Regole di suddivisione dell'edificio

- La zonizzazione non è richiesta se si verificano le seguenti condizioni:
 - le temperature interne di regolazione per il riscaldamento differiscono di non oltre 4 K;
 - gli ambienti non sono raffrescati o comunque le temperature interne di regolazione per il raffrescamento differiscono di non oltre 4 K;
 - gli ambienti sono serviti dallo stesso impianto di riscaldamento;
 - se vi è un impianto di ventilazione meccanica, almeno l'80% dell'area climatizzata è servita dallo stesso impianto di ventilazione con tassi di ventilazione nei diversi ambienti che non differiscono di un fattore superiore a 4.

Confini delle zone termiche

- Per definire i confini del volume lordo climatizzato si considerano le dimensioni esterne dell’involucro
- Per definire i confini tra le zone termiche, si utilizzano le superfici di mezzeria degli elementi divisorii



Temperatura interna (climatizzazione invernale)

- Ambienti climatizzati
 - $\theta_{\text{int,set,H}} = 28 \text{ °C}$ (categoria E.6(1))
 - $\theta_{\text{int,set,H}} = 18 \text{ °C}$ (categorie E.6(2) e E.8)
 - $\theta_{\text{int,set,H}} = 20 \text{ °C}$ (altre categorie)
- Per gli edifici confinanti:
 - $\theta_{\text{int}} = 20 \text{ °C}$ (edifici confinanti riscaldati e appartamenti vicini normalmente abitati);
 - conforme alla UNI EN 12831 (appartamenti confinanti in edifici che non sono normalmente abitati, come case vacanze)
 - conforme alla EN ISO 13789 - Appendice A, (edifici o ambienti confinanti non riscaldati, come magazzini, autorimesse, cantinati, vano scale, ecc.)

Temperatura interna (climatizzazione estiva)

- Ambienti climatizzati
 - $\theta_{\text{int,set,C}} = 28 \text{ °C}$ (categoria E.6(1))
 - $\theta_{\text{int,set,C}} = 24 \text{ °C}$ (categoria E.6(2))
 - $\theta_{\text{int,set,C}} = 26 \text{ °C}$ (altre categorie)
- Per gli edifici confinanti:
 - $\theta_{\text{int}} = 26 \text{ °C}$

Durata del periodo di riscaldamento/raffrescamento

Può essere

- fissato per legge in funzione della zona climatica e della categoria di edificio:
- calcolato attraverso un bilancio di energia:

– riscaldamento $\rightarrow \theta_{e,day} \leq \theta_{i,set,H} - Q_{gn,day} / (H \cdot t_{day})$

– raffrescamento $\rightarrow \theta_{e,day} \geq \theta_{i,set,C} - Q_{gn,day} / (H \cdot t_{day})$

Parametri di trasmissione termica: effetto delle chiusure oscuranti

- L'effetto dell'isolamento notturno (presenza di una chiusura oscurante) si considera mediante la frazione adimensionale della differenza cumulata di temperatura, derivante dal modello orario di utilizzo:

$$U_{w,corr} = U_{w+shut} * f_{shut} + U_w * (1 - f_{shut})$$

- Nella valutazione di progetto o nella valutazione standard:
 - si considera un periodo giornaliero di chiusura di 12 ore.
 - in mancanza di dati precisi sui profili giornalieri della temperatura si assuma $f_{shut} = 0,6$.

Maggiorazioni percentuali per i ponti termici

| Descrizione della struttura | Maggiorazione |
|--|---------------|
| 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 |

Scambio termico verso ambienti non climatizzati

$$H_U = H_{iu} \cdot b_{tr,x}$$

| Ambiente confinante | $b_{tr,x}$ |
|---|------------|
| Ambiente | |
| - con una parete esterna | 0,4 |
| - senza serramenti esterni e con almeno due pareti esterne | 0,5 |
| - con serramenti esterni e con almeno due pareti esterne (ad es. autorimesse) | 0,6 |
| - con tre pareti esterne (ad es. vani scala esterni) | 0,8 |
| Piano interrato o seminterrato | |
| - senza finestre o serramenti esterni | 0,5 |
| - con finestre o serramenti esterni | 0,8 |
| Sottotetto | |
| - tasso di ventilazione del sottotetto elevato (es. tetti ricoperti con tegole o altri materiali di copertura discontinua) senza rivestimento con feltro o assito | 1,0 |
| - altro tetto non isolato | 0,9 |
| - tetto isolato | 0,7 |
| Aree interne di circolazione (senza muri esterni e con tasso di ricambio d'aria inferiore a $0,5 \text{ h}^{-1}$) | 0 |
| Aree interne di circolazione liberamente ventilate (rapporto tra l'area delle aperture e volume dell'ambiente maggiore di $0,005 \text{ m}^2/\text{m}^3$) | 1,0 |

$$b_{tr,x} = \frac{H_{ue}}{H_{iu} + H_{ue}}$$

Scambio termico verso il terreno

$$H_G = A \cdot U_f \cdot b_{tr,g}$$

| Ambiente confinante | $b_{tr,g}$ |
|-----------------------------|------------|
| Pavimento controterra | 0,45 |
| Parete controterra | 0,45 |
| Pavimento su vespaio areato | 0,80 |

Ventilazione: volume netto dell'ambiente climatizzato

Fattore di correzione del volume lordo climatizzato

| | | |
|--------------------|--------------------------------------|---------------------------------|
| | | |
| E.1, E.2, E.3, E.7 | Pareti di spessore superiore a 45 cm | Pareti di spessore fino a 45 cm |
| | 0,6 | 0,7 |
| E.4, E.5, E.6, E.8 | Con partizioni interne | Senza partizioni interne |
| | 0,8 | 0,9 |

Ventilazione naturale

- Edifici residenziali
 - ricambi d'aria pari a 0,3 vol/h;
- Altre categorie edificio
 - ricambi d'aria riportati nella norma UNI 10339.

(gli indici di affollamento sono assunti pari al 60% di quelli riportati nella suddetta norma ai fini della determinazione della portata di progetto)

Ventilazione meccanica

- Edifici dotati di sistemi di ventilazione meccanica a semplice flusso (aspirazione) il ricambio d'aria è fissato pari a:

$$q_{ve} = q_{ve,des} \cdot k$$

$k = 1$ per bocchette sempre aperte,

$k = 0,6$ per ventilazione igro-regolabile.

- Per gli edifici dotati di sistemi di ventilazione meccanica a doppio flusso il ricambio d'aria è fissato pari a:

$$q_{ve} = q_{ve,des} \cdot (1 - \eta_{ve})$$

- Ai fini della valutazione di progetto o della valutazione standard, l'opzione della ventilazione notturna può essere considerata solo in presenza di ventilazione meccanica, assumendo una ventilazione notturna (23 -7)

Apporti termici interni: area climatizzata netta

- In assenza di informazioni sull'area netta di pavimento,
- al fine di determinare gli apporti termici interni, l'area climatizzata (netta) di ciascuna zona termica può essere ottenuta moltiplicando la corrispondente area lorda per un fattore f_n , ricavabile in funzione dello spessore medio delle pareti esterne, d_m :

$$f_n = 0,9761 - 0,3055 \cdot d_m$$

Apporti interni globali medi

| Categoria di edificio ⁸ | Destinazione d'uso | Apporti medi globali |
|------------------------------------|--|----------------------|
| | | W/m ² |
| E.1 (3) | Edifici adibiti ad albergo, pensione ed attività similari | 6 |
| E.2 | Edifici adibiti a uffici e assimilabili | 6 |
| E.3 | Edifici adibiti a ospedali, cliniche o case di cura e assimilabili | 8 |
| E.4 (1) | Cinema e teatri, sale di riunione per congressi | 8 |
| E.4 (2) | Mostre, musei e biblioteche, luoghi di culto | 8 |
| E.4 (3) | Bar, ristoranti, sale da ballo | 10 |
| E.5 | Edifici adibiti ad attività commerciali e assimilabili | 8 |
| E.6 (1) | Piscine, saune e assimilabili | 10 |
| E.6 (2) | Palestre e assimilabili | 5 |
| E.6 (3) | Servizi di supporto alle attività sportive | 4 |
| E.7 | Edifici adibiti ad attività scolastiche a tutti i livelli e assimilabili | 4 |
| E.8 | Edifici adibiti ad attività industriali ed artigianali e assimilabili | 6 |

Profili temporali degli apporti termici (occupanti + apparecchiature)

| Giorni | Ore | Soggiorno e cucina $(\Phi_{\text{Int,Oc}} + \Phi_{\text{Int,A}}) / A_f$ W/m ² | Altre aree climatizzate (es. stanza da letto) $(\Phi_{\text{Int,Oc}} + \Phi_{\text{Int,A}}) / A_f$ W/m ² |
|-------------------|---------------|--|--|
| Lunedì – Venerdì | 07.00 – 17.00 | 8,0 | 1,0 |
| | 17.00 – 23.00 | 20,0 | 1,0 |
| | 23.00 – 07.00 | 2,0 | 6,0 |
| | Media | 9,0 | 2,67 |
| Sabato – Domenica | 07.00 – 17.00 | 8,0 | 2,0 |
| | 17.00 – 23.00 | 20,0 | 4,0 |
| | 23.00 – 07.00 | 2,0 | 6,0 |
| | Media | 9,0 | 3,83 |
| Media | | 9,0 | 3,0 |

Apporti solari - Fattori solari di vetri

| Tipo di vetro | g_n |
|---|-------|
| Vetro singolo | 0,85 |
| Doppio vetro normale | 0,75 |
| Doppio vetro con rivestimento basso-emissivo | 0,67 |
| Triplo vetro normale | 0,70 |
| Triplo vetro con doppio rivestimento basso-emissivo | 0,50 |
| Doppia finestra | 0,75 |

Fattori di riduzione per alcuni tipi di tenda

| Tipo di tenda | Proprietà ottiche della tenda | | Fattori di riduzione con | |
|--------------------------------|-------------------------------|--------------|--------------------------|---------------|
| | assorbimento | trasmissione | tenda interna | tenda esterna |
| Veneziane bianche | 0,1 | 0,05 | 0,25 | 0,10 |
| | | 0,1 | 0,30 | 0,15 |
| | | 0,3 | 0,45 | 0,35 |
| Tende bianche | 0,1 | 0,5 | 0,65 | 0,55 |
| | | 0,7 | 0,80 | 0,75 |
| | | 0,9 | 0,95 | 0,95 |
| Tessuti colorati | 0,3 | 0,1 | 0,42 | 0,17 |
| | | 0,3 | 0,57 | 0,37 |
| | | 0,5 | 0,77 | 0,57 |
| Tessuti rivestiti di alluminio | 0,2 | 0,05 | 0,20 | 0,08 |

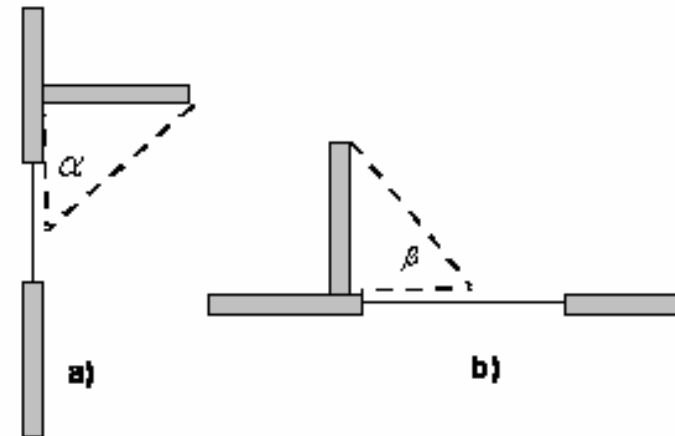
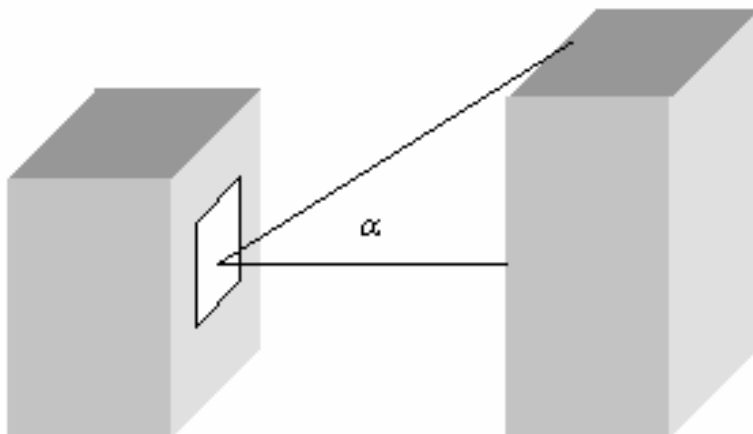
Gestione delle schermature mobili

$$F_{sh,gl} = [(1 - f_{sh,with})g_{gl} + f_{sh,with}g_{gl+sh}] / g_{gl}$$

| Mese | Nord | Est | Sud | Ovest |
|------|------|------|------|-------|
| 1 | 0,00 | 0,52 | 0,81 | 0,39 |
| 2 | 0,00 | 0,48 | 0,82 | 0,55 |
| 3 | 0,00 | 0,66 | 0,81 | 0,63 |
| 4 | 0,00 | 0,71 | 0,74 | 0,62 |
| 5 | 0,00 | 0,71 | 0,62 | 0,64 |
| 6 | 0,00 | 0,75 | 0,56 | 0,68 |
| 7 | 0,00 | 0,74 | 0,62 | 0,73 |
| 8 | 0,00 | 0,75 | 0,76 | 0,72 |
| 9 | 0,00 | 0,73 | 0,82 | 0,67 |
| 10 | 0,00 | 0,72 | 0,86 | 0,60 |
| 11 | 0,00 | 0,62 | 0,84 | 0,30 |
| 12 | 0,00 | 0,50 | 0,86 | 0,42 |

Fattore di riduzione per ombreggiatura

$$F_s = F_{hor} \cdot F_{ov} \cdot F_{fin}$$



Fattore di riduzione per ombreggiatura

OSTRUZIONI ESTERNE - Mese di gennaio

| Angolo su orizzonte | 36 ° N latitudine | | | 38 ° N latitudine | | | 40 ° N latitudine | | | 42 ° N latitudine | | | 44 ° N latitudine | | | 46 ° N latitudine | | |
|------------------------|-------------------|------|------|-------------------|------|------|-------------------|------|------|-------------------|------|------|-------------------|------|------|-------------------|------|------|
| | S | E/O | N | S | E/O | N | S | E/O | N | S | E/O | N | S | E/O | N | S | E/O | N |
| 0 ° | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| 10 ° | 0,97 | 0,86 | 0,83 | 0,95 | 0,85 | 0,83 | 0,94 | 0,83 | 0,83 | 0,93 | 0,81 | 0,83 | 0,91 | 0,80 | 0,83 | 0,88 | 0,76 | 0,83 |
| 20 ° | 0,85 | 0,67 | 0,67 | 0,82 | 0,65 | 0,67 | 0,77 | 0,63 | 0,67 | 0,70 | 0,60 | 0,67 | 0,59 | 0,58 | 0,67 | 0,47 | 0,54 | 0,67 |
| 30 ° | 0,46 | 0,47 | 0,52 | 0,34 | 0,45 | 0,52 | 0,25 | 0,44 | 0,52 | 0,15 | 0,44 | 0,52 | 0,09 | 0,44 | 0,52 | 0,05 | 0,39 | 0,52 |
| 40 ° | 0,05 | 0,37 | 0,38 | 0,05 | 0,33 | 0,38 | 0,05 | 0,30 | 0,38 | 0,05 | 0,27 | 0,38 | 0,05 | 0,23 | 0,38 | 0,04 | 0,21 | 0,38 |

Fattore di riduzione per ombreggiatura

AGGETTI ORIZZONTALI - Mese di gennaio

| Angolo | 36 ° N latitudine | | | 38 ° N latitudine | | | 40 ° N latitudine | | | 42 ° N latitudine | | | 44 ° N latitudine | | | 46 ° N latitudine | | |
|--------|-------------------|------|------|-------------------|------|------|-------------------|------|------|-------------------|------|------|-------------------|------|------|-------------------|------|------|
| | S | E/O | N | S | E/O | N | S | E/O | N | S | E/O | N | S | E/O | N | S | E/O | N |
| 0 ° | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| 30 ° | 0,85 | 0,85 | 0,80 | 0,86 | 0,85 | 0,80 | 0,87 | 0,86 | 0,80 | 0,88 | 0,87 | 0,80 | 0,89 | 0,87 | 0,80 | 0,90 | 0,88 | 0,80 |
| 45 ° | 0,77 | 0,80 | 0,72 | 0,78 | 0,81 | 0,72 | 0,80 | 0,81 | 0,72 | 0,81 | 0,83 | 0,72 | 0,82 | 0,83 | 0,72 | 0,84 | 0,85 | 0,72 |
| 60 ° | 0,66 | 0,77 | 0,65 | 0,68 | 0,77 | 0,65 | 0,70 | 0,78 | 0,65 | 0,72 | 0,80 | 0,65 | 0,74 | 0,81 | 0,65 | 0,77 | 0,83 | 0,65 |

Fattore di riduzione per ombreggiatura

AGGETTI VERTICALI - Mese di gennaio

| Angolo | 36 ° N latitudine | | | 38 ° N latitudine | | | 40 ° N latitudine | | | 42 ° N latitudine | | | 44 ° N latitudine | | | 46 ° N latitudine | | |
|--------|-------------------|------|------|-------------------|------|------|-------------------|------|------|-------------------|------|------|-------------------|------|------|-------------------|------|------|
| | S | E/O | N | S | E/O | N | S | E/O | N | S | E/O | N | S | E/O | N | S | E/O | N |
| 0 ° | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| 30 ° | 0,91 | 0,73 | 0,89 | 0,92 | 0,72 | 0,89 | 0,92 | 0,72 | 0,89 | 0,92 | 0,71 | 0,89 | 0,92 | 0,70 | 0,89 | 0,92 | 0,68 | 0,89 |
| 45 ° | 0,86 | 0,60 | 0,85 | 0,86 | 0,59 | 0,85 | 0,86 | 0,59 | 0,85 | 0,87 | 0,57 | 0,85 | 0,87 | 0,56 | 0,85 | 0,87 | 0,54 | 0,85 |
| 60 ° | 0,79 | 0,46 | 0,80 | 0,79 | 0,46 | 0,80 | 0,80 | 0,45 | 0,80 | 0,80 | 0,43 | 0,80 | 0,80 | 0,42 | 0,80 | 0,80 | 0,38 | 0,80 |

Metodo mensile: fattore di utilizzazione degli apporti gratuiti

- Riscaldamento

- $\eta_{H,gn} = (1 - \gamma_H^{a_H}) / (1 - \gamma_H^{a_H+1})$ se $\gamma_H \neq 1$

- $\gamma_H = Q_{gn} / Q_{H,ht}$

- $a_H = a_{H,0} + \tau_H / \tau_{H,0}$

- Raffrescamento

- $\eta_{C,ls} = (1 - \lambda_C^{a_C}) / (1 - \lambda_C^{a_C+1})$ se $\lambda_C \neq 1$ e $\lambda_C > 0$

- $\eta_{C,ls} = 1$ se $\lambda_C < 0$

- $\lambda_C = Q_{C,ht} / Q_{gn}$

- $a_C = a_{C,0} + \tau_C / \tau_{C,0} - k A_w / A_f$

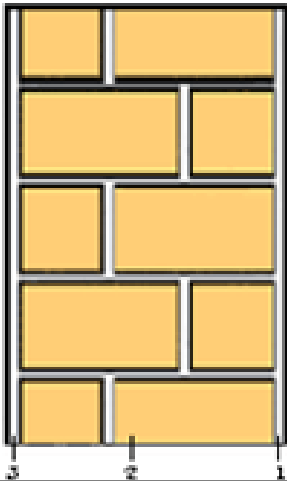
Capacità termica per unità di superficie d'involucro

| Caratteristiche costruttive dei componenti edilizi | | | | Numero di piani | | |
|--|-----------------|-----------------|------------|---|-----|-----|
| Intonaci | Isolamento | Pareti esterne | Pavimenti | 1 | 2 | ≥3 |
| | | | | Capacità termica areica [kJ/(m²·K)] | | |
| gesso | interno | qualsiasi | tessile | 75 | 75 | 85 |
| | interno | qualsiasi | legno | 85 | 95 | 105 |
| | interno | qualsiasi | piastrelle | 95 | 105 | 115 |
| | assente/esterno | leggere/blocchi | tessile | 95 | 95 | 95 |
| | assente/esterno | medie/pesanti | tessile | 105 | 95 | 95 |
| | assente/esterno | leggere/blocchi | legno | 115 | 115 | 115 |
| | assente/esterno | medie/pesanti | legno | 115 | 125 | 125 |
| | assente/esterno | leggere/blocchi | piastrelle | 115 | 125 | 135 |
| | assente/esterno | medie/pesanti | piastrelle | 125 | 135 | 135 |

Appendice A: Determinazione semplificata della trasmittanza termica di parete

| Spessore [m] | Muratura di pietrame intonacata | Muratura di mattoni pieni intonacati sulle due facce | Muratura mattoni semipieni o tufo | Pannello prefabbricato in cls | Parete a cassa vuota con mattoni forati |
|-----------------|---------------------------------------|---|--|-------------------------------------|---|
| 0,15 | - | 2,59 | 2,19 | 3,59 | - |
| 0,20 | - | 2,28 | 1,96 | 3,28 | - |
| 0,25 | - | 2,01 | 1,76 | 3,02 | 1,20 |
| 0,30 | 2,99 | 1,77 | 1,57 | 2,80 | 1,15 |
| 0,35 | 2,76 | 1,56 | 1,41 | 2,61 | 1,10 |
| 0,40 | 2,57 | 1,39 | 1,26 | 2,44 | 1,10 |
| 0,45 | 2,40 | 1,25 | 1,14 | - | 1,10 |
| 0,50 | 2,25 | 1,14 | 1,04 | - | 1,10 |
| 0,55 | 2,11 | 1,07 | 0,96 | - | - |
| 0,60 | 2,00 | 1,04 | 0,90 | - | - |

Appendice B: Abaco delle strutture murarie usate in Italia

| Sezione struttura | Rif. | Materiali | Massa vol. [kg/m ³] | Conduttiv. [W/(m·K)] |
|--|------|----------------------------------|------------------------------------|-------------------------|
|  | 1 | Intonaco interno (calce e gesso) | 1400 | 0,70 |
| | 2 | Muro in mattoni pieni | 1800 | 0,72 |
| | 3 | Intonaco esterno | 1800 | 0,90 |
| | 4 | | | |
| | 5 | | | |
| | 6 | | | |
| | 7 | | | |
| | 8 | | | |
| | 9 | | | |
| | 10 | | | |

Appendice C: Determinazione semplificata della trasmittanza termica di vetrate

| Vetrata | | | | Tipo di gas nell'intercapedine (concentrazione del gas $\geq 90\%$) | | | | |
|---|---|--------------------|---------------|---|-------|---------|-----------------|-------|
| Tipo | Vetro | Emissività normale | Dimensioni mm | Aria | Argon | Krypton | SF ₆ | Xenon |
| Vetrata doppia | Vetro normale | 0,89 | 4-6-4 | 3,3 | 3,0 | 2,8 | 3,0 | 2,6 |
| | | | 4-8-4 | 3,1 | 2,9 | 2,7 | 3,1 | 2,6 |
| | | | 4-12-4 | 2,8 | 2,7 | 2,6 | 3,1 | 2,6 |
| | | | 4-16-4 | 2,7 | 2,6 | 2,6 | 3,1 | 2,6 |
| | | | 4-20-4 | 2,7 | 2,6 | 2,6 | 3,1 | 2,6 |
| | Una lastra con trattamento superficiale | $\leq 0,20$ | 4-6-4 | 2,7 | 2,3 | 1,9 | 2,3 | 1,6 |
| | | | 4-8-4 | 2,4 | 2,1 | 1,7 | 2,4 | 1,6 |
| | | | 4-12-4 | 2,0 | 1,8 | 1,6 | 2,4 | 1,6 |
| | | | 4-16-4 | 1,8 | 1,6 | 1,6 | 2,5 | 1,6 |
| | | | 4-20-4 | 1,8 | 1,7 | 1,6 | 2,5 | 1,7 |
| | Una lastra con trattamento superficiale | $\leq 0,15$ | 4-6-4 | 2,6 | 2,3 | 1,8 | 2,2 | 1,5 |
| | | | 4-8-4 | 2,3 | 2,0 | 1,6 | 2,3 | 1,4 |
| | | | 4-12-4 | 1,9 | 1,6 | 1,5 | 2,3 | 1,5 |
| | | | 4-16-4 | 1,7 | 1,5 | 1,5 | 2,4 | 1,5 |
| | | | 4-20-4 | 1,7 | 1,5 | 1,5 | 2,4 | 1,5 |
| | Una lastra con trattamento superficiale | $\leq 0,10$ | 4-6-4 | 2,6 | 2,2 | 1,7 | 2,1 | 1,4 |
| | | | 4-8-4 | 2,2 | 1,9 | 1,4 | 2,2 | 1,3 |
| | | | 4-12-4 | 1,8 | 1,5 | 1,3 | 2,3 | 1,3 |
| | | | 4-16-4 | 1,6 | 1,4 | 1,3 | 2,3 | 1,4 |
| | | | 4-20-4 | 1,6 | 1,4 | 1,4 | 2,3 | 1,4 |
| Una lastra con trattamento superficiale | $\leq 0,05$ | 4-6-4 | 2,5 | 2,1 | 1,5 | 2,0 | 1,2 | |
| | | 4-8-4 | 2,1 | 1,7 | 1,3 | 2,1 | 1,1 | |
| | | 4-12-4 | 1,7 | 1,3 | 1,1 | 2,1 | 1,2 | |
| | | 4-16-4 | 1,4 | 1,2 | 1,2 | 2,2 | 1,2 | |
| | | 4-20-4 | 1,5 | 1,2 | 1,2 | 2,2 | 1,2 | |

Appendice C: Determinazione semplificata della trasmittanza termica di telai

| Materiale | Tipo | Trasmittanza termica U_f [W/(m ² K)] |
|----------------------------|---|---|
| Poliuretano | con anima di metallo e spessore di PUR ≥ 5 mm | 2,8 |
| PVC - profilo vuoto | con due camere cave | 2,2 |
| | con tre camere cave | 2,0 |
| Legno duro | spessore 70 mm | 2,1 |
| Legno tenero | spessore 70 mm | 1,8 |
| Metallo con taglio termico | distanza minima di 20 mm tra sezioni opposte di metallo | 2,4 |

Appendice C: Determinazione semplificata della trasmittanza termica di finestre

| Tipo di vetrata | U_g [W/(m ² K)] | U_i [W/(m ² K)] | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------|---------------------------------|---------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|
| | | 0,8 | 1,0 | 1,2 | 1,4 | 1,6 | 1,8 | 2,0 | 2,2 | 2,6 | 3,0 | 3,4 | 3,8 | 7,0 | |
| Singola | 5,7 | 4,7 | 4,8 | 4,8 | 4,8 | 4,9 | 4,9 | 5,0 | 5,0 | 5,1 | 5,2 | 5,2 | 5,3 | 6,0 | |
| Doppia o tripla | 3,3 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,1 | 3,1 | 3,2 | 3,2 | 3,3 | 3,4 | 3,5 | 3,5 | 3,6 | 4,1 | |
| | 3,2 | 2,9 | 2,9 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,1 | 3,1 | 3,2 | 3,3 | 3,4 | 3,5 | 3,5 | 4,0 | |
| | 3,1 | 2,8 | 2,8 | 2,9 | 2,9 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,1 | 3,2 | 3,3 | 3,4 | 3,5 | 3,9 | |
| | 3,0 | 2,7 | 2,8 | 2,8 | 2,8 | 2,9 | 2,9 | 3,0 | 3,1 | 3,1 | 3,2 | 3,3 | 3,4 | 3,9 | |
| | 2,9 | 2,6 | 2,7 | 2,7 | 2,8 | 2,8 | 2,8 | 2,9 | 3,0 | 3,1 | 3,1 | 3,2 | 3,3 | 3,8 | |
| | 2,8 | 2,6 | 2,6 | 2,6 | 2,7 | 2,7 | 2,8 | 2,8 | 2,9 | 3,0 | 3,1 | 3,1 | 3,1 | 3,7 | |
| | 2,7 | 2,5 | 2,5 | 2,6 | 2,6 | 2,6 | 2,7 | 2,7 | 2,8 | 2,9 | 3,0 | 3,1 | 3,1 | 3,6 | |
| | 2,6 | 2,4 | 2,4 | 2,5 | 2,5 | 2,6 | 2,6 | 2,6 | 2,7 | 2,8 | 2,9 | 3,0 | 3,1 | 3,5 | |
| | 2,5 | 2,3 | 2,4 | 2,4 | 2,4 | 2,5 | 2,5 | 2,6 | 2,7 | 2,7 | 2,8 | 2,9 | 3,0 | 3,5 | |
| | 2,4 | 2,2 | 2,3 | 2,3 | 2,4 | 2,4 | 2,4 | 2,5 | 2,6 | 2,6 | 2,7 | 2,8 | 2,9 | 3,4 | |
| | 2,3 | 2,2 | 2,2 | 2,2 | 2,3 | 2,3 | 2,4 | 2,4 | 2,5 | 2,6 | 2,7 | 2,7 | 2,8 | 3,3 | |
| | 2,2 | 2,1 | 2,1 | 2,2 | 2,2 | 2,2 | 2,3 | 2,3 | 2,4 | 2,5 | 2,6 | 2,7 | 2,7 | 3,2 | |
| | 2,1 | 2,0 | 2,0 | 2,1 | 2,1 | 2,2 | 2,2 | 2,2 | 2,3 | 2,4 | 2,5 | 2,6 | 2,7 | 3,1 | |
| | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,1 | 2,1 | 2,1 | 2,2 | 2,2 | 2,3 | 2,4 | 2,5 | 2,6 | 2,7 | 3,1 | |
| | 1,9 | 1,9 | 1,9 | 2,0 | 2,0 | 2,1 | 2,1 | 2,1 | 2,3 | 2,3 | 2,4 | 2,5 | 2,6 | 3,1 | |
| | 1,8 | 1,8 | 1,9 | 1,9 | 1,9 | 2,0 | 2,0 | 2,1 | 2,2 | 2,3 | 2,3 | 2,4 | 2,5 | 3,0 | |
| | 1,7 | 1,7 | 1,8 | 1,8 | 1,9 | 1,9 | 1,9 | 2,0 | 2,1 | 2,2 | 2,3 | 2,3 | 2,4 | 2,9 | |
| | 1,6 | 1,7 | 1,7 | 1,7 | 1,8 | 1,8 | 1,9 | 1,9 | 2,0 | 2,1 | 2,2 | 2,3 | 2,3 | 2,8 | |
| | 1,5 | 1,6 | 1,6 | 1,7 | 1,7 | 1,7 | 1,8 | 1,8 | 1,9 | 2,0 | 2,1 | 2,2 | 2,3 | 2,7 | |
| | 1,4 | 1,5 | 1,5 | 1,6 | 1,6 | 1,7 | 1,7 | 1,7 | 1,9 | 1,9 | 2,0 | 2,1 | 2,2 | 2,7 | |
| 1,3 | 1,4 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,6 | 1,6 | 1,7 | 1,8 | 1,9 | 1,9 | 2,0 | 2,1 | 2,6 | | |
| 1,2 | 1,3 | 1,4 | 1,4 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,6 | 1,7 | 1,8 | 1,9 | 1,9 | 2,0 | 2,5 | | |
| 1,1 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,4 | 1,4 | 1,5 | 1,5 | 1,6 | 1,7 | 1,8 | 1,9 | 1,9 | 2,4 | | |
| 1,0 | 1,2 | 1,2 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,4 | 1,4 | 1,5 | 1,6 | 1,7 | 1,8 | 1,9 | 2,3 | | |
| 0,9 | 1,1 | 1,1 | 1,2 | 1,2 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,5 | 1,5 | 1,6 | 1,7 | 1,8 | 2,3 | | |
| 0,8 | 1,0 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,2 | 1,2 | 1,3 | 1,4 | 1,5 | 1,5 | 1,6 | 1,7 | 2,2 | | |
| 0,7 | 0,9 | 1,0 | 1,0 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,2 | 1,3 | 1,4 | 1,5 | 1,5 | 1,6 | 2,1 | | |
| 0,6 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 1,0 | 1,0 | 1,1 | 1,1 | 1,2 | 1,3 | 1,4 | 1,5 | 1,5 | 2,0 | | |
| 0,5 | 0,8 | 0,8 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 1,0 | 1,0 | 1,2 | 1,2 | 1,3 | 1,4 | 1,5 | 1,9 | | |

Appendice C: Resistenza addizionale termica di chiusure oscuranti

| Tipo di chiusura | Resistenza termica caratteristica della chiusura | Resistenze termiche addizionali per una specifica permeabilità all'aria delle chiusure ^a | | |
|---|--|---|-----------------------------|-----------------------------|
| | R_{shut} m ² K/W | ΔR m ² K/W | | |
| | | Alta permeabilità all'aria | Media permeabilità all'aria | Bassa permeabilità all'aria |
| Chiusure avvolgibili in alluminio | 0,01 | 0,09 | 0,12 | 0,15 |
| Chiusure avvolgibili in legno e plastica senza riempimento in schiuma | 0,10 | 0,12 | 0,16 | 0,22 |
| Chiusure avvolgibili in plastica con riempimento in schiuma | 0,15 | 0,13 | 0,19 | 0,26 |
| Chiusure in legno da 25 mm a 30 mm di spessore | 0,20 | 0,14 | 0,22 | 0,30 |