



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

Facoltà di Architettura

-

Laurea magistrale in
Architettura a ciclo unico

Corso di fisica tecnica ambientale

**LEZIONE 9:
BILANCI TERMICI DEGLI EDIFICI**

Ing. Marco Cecconi

marco.cecconi@ingenergia.it

Obiettivo

- Combinare i singoli scambi termici in un **bilancio globale** dell'edificio.
- Conoscere i metodi di calcolo per i **bilanci termici di potenza e di energia utile** (al netto degli impianti).

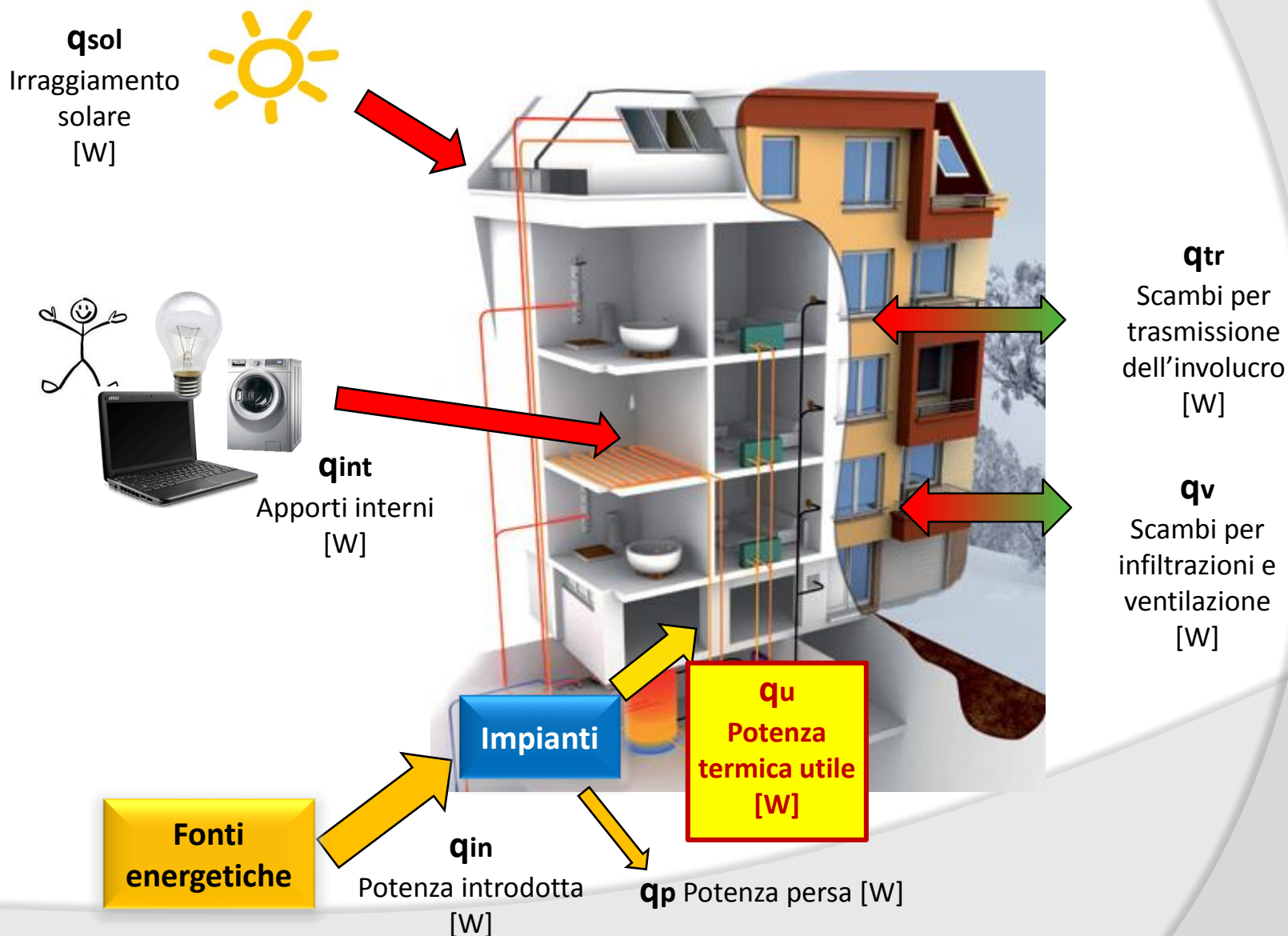
Indice

9 Bilanci termici degli edifici

- Definizioni, caratteristiche e classificazioni 3
- Bilanci della potenza termica 7
- Bilanci dell'energia termica 10
- Conclusioni 16

Bilancio termico degli edifici

ANALISI DEGLI SCAMBI TERMICI



Bilancio termico degli edifici

DEFINIZIONI, CARATTERISTICHE E CLASSIFICAZIONI

- Per **bilancio termico** si intende l'integrazione dei singoli scambi termici finalizzato a determinare il comportamento complessivo dell'edificio.
- Affinché i singoli scambi termici possano essere integrati in un bilancio è necessario che gli scambi siano riferiti allo stesso periodo temporale e alla stessa zona termica.
- **Zona termica**: parte dell'ambiente climatizzato mantenuto a temperatura (ed eventualmente umidità) uniforme attraverso lo stesso impianto di climatizzazione (UNI TS 11300-1:2014).
- Ogni zona termica è separata dalle altre e dall'ambiente esterno mediante porzioni di involucro edilizio.
- Classificazione dei bilanci in base alla zonizzazione:
 - **Bilancio monozona**: l'edificio è considerato come un unico grande ambiente che si trova alla stessa temperatura e servito dallo stesso impianto, vi è quindi un unico bilancio termico.
 - **Bilancio multizona**: l'edificio è suddiviso in diverse zone termiche, ciascuna con un bilancio che può dipendere anche da quello delle altre zone.

Bilancio termico degli edifici

DEFINIZIONI, CARATTERISTICHE E CLASSIFICAZIONI

- Classificazione in base al **periodo di calcolo** e quindi alle **finalità**:
 - **Bilancio della potenza** (o **carico termico**) [W]:
suddiviso ulteriormente in:
 - **Istantaneo**: permette di calcolare la potenza termica utile (q_u) necessaria in un dato istante per mantenere la temperatura di comfort degli ambienti interni.
 - **Di picco estivo/invernale**: permette di calcolare la potenza termica utile (q_u) necessaria nei due istanti più impegnativi dell'anno per mantenere la temperatura di comfort degli ambienti interni. Necessario a **dimensionare gli impianti** di climatizzazione.
 - **Bilancio dell'energia** [Wh]:
permette di calcolare l'energia termica utile (Q_u) necessaria durante un certo arco di tempo per mantenere la temperatura di comfort degli ambienti interni. Necessario a conoscere la **qualità energetica** di un edificio.

Bilancio termico degli edifici

DEFINIZIONI, CARATTERISTICHE E CLASSIFICAZIONI

- Classificazione in base alla stazionarietà:

- **Bilancio stazionario** (o statico):

se almeno uno dei flussi termici è stato calcolato con l'ipotesi di stazionarietà.

- **Bilancio dinamico:**

se tutti i fattori sono stati calcolati tenendo in considerazione gli effetti dinamici degli elementi edilizi (inerzia termica, ritardo, smorzamento). In questo caso è necessario conoscere anche il valore esatto di tutti i flussi termici in ogni istante (irraggiamento solare, presenza di persone, funzionamento di macchinari, posizionamento tapparelle, ecc).

- Classificazione in base alla tipologia di flusso:

- **Bilancio sensibile:**

se vengono considerati scambi di tipo termico (calore sensibile).

- **Bilancio latente** (o di vapore):

se vengono considerati scambi di vapore (calore latente).

Bilanci della potenza termica

CARICO TERMICO SENSIBILE ISTANTANEO MONOZONA

- Se si considera di avere un edificio monozona e di aver calcolato i singoli scambi termici sensibili della zona per un dato istante (fig. slide 3), allora il **carico termico di quell'istante sarà pari alla somma di tutti gli scambi:**

$$q_{u,sens} = \sum q_{tr} + \sum q_{sol} + \sum q_{ve,sens} + \sum q_{int,sens} \quad [W]$$

Qui dentro sono compresi anche i **ponti termici**.

- Gli scambi termici devono essere calcolati considerando una **temperatura interna pari alla temperatura di comfort desiderata**, in questo modo il valore $q_{u,sens}$ rappresenta la potenza termica scambiata con l'esterno se all'interno viene mantenuta la temperatura di comfort.
- Se $q_{u,sens}$ viene **negativo** allora significa che prevalgono le **dispersioni** (sarà necessario fornire potenza: **riscaldamento**), se viene **positivo** prevalgono gli **apporti** (sarà necessario asportare potenza: **raffrescamento**).
- Nei casi reali, se il calcolo non è di tipo dinamico non si potrà mai sapere con certezza il valore istantaneo di $q_{u,sens}$ poiché ciascuno scambio non dipende solo dal valore attuale delle temperatura, ma anche ciò che è successo in passato (energia termica accumulata nelle strutture) → valore approssimato.

Bilanci della potenza termica

CARICHI TERMICI DI PICCO

- Ipotizzando di calcolare $q_{u,sens}$ della slide precedente per ogni istante dell'anno, i **carichi di picco invernale ed estivo** sono pari ai due valori estremi che si verificano durante l'anno presi sempre positivi:

$$q_{u,sens,peak,inv} = \max(-q_{u,sens}) \quad [W]$$

$$q_{u,sens,peak,est} = \max(q_{u,sens}) \quad [W]$$

- Il calcolo della **potenza di picco** permette di conoscere la **massima potenza necessaria** alla climatizzazione dell'edificio nelle due condizioni più estreme che si possono presentare d'inverno e d'estate.
- In **inverno** $q_{u,sens}$ **sarà negativo (dispersioni termiche)**, quindi occorre prendere il massimo valore di $q_{u,sens}$ cambiato di segno per determinare la potenza da fornire. In **estate invece sarà positivo (apporti termici)** ed è pari alla potenza da sottrarre all'ambiente.
- E' un dato necessario per **dimensionare** correttamente gli impianti di climatizzazione che devono essere in grado di far fronte alle situazioni più estreme.

Bilanci della potenza termica

CARICHI TERMICI DI PICCO

- Nella pratica è **molto gravoso** calcolare il bilancio termico in ogni istante dell'anno, pertanto, per trovare i due valori di picco si esegue un solo calcolo per l'inverno ed uno per l'estate **nelle seguenti condizioni**:
 - **Picco invernale**: si considera la **temperatura del mese più freddo** e si **eliminano tutti gli apporti incerti** (solari e interni). E' possibile effettuare il **calcolo statico** (temperatura esterna = costante) poiché le escursioni termiche invernali sono contenute e si è deciso di non considerare la radiazione solare. La formula generale si semplifica come segue:

$$q_{u,sens,peak,inv} \cong -\left(\sum q_{tr,max} + \sum q_{ve,sens,max}\right)$$

- **Picco estivo**: si considerano le **condizioni ambientali del mese più caldo** e si **considerano tutti gli apporti possibili** (solari + interni). E' necessario effettuare il **calcolo dinamico** poiché le escursioni termiche estive sono considerevoli (temperatura esterna non costante) e anche l'apporto solare è intenso e concentrato in alcune ore del giorno. Si deve utilizzare la formula generale del bilancio termico senza semplificazioni.

Bilanci dell'energia termica

BILANCI ENERGETICI

- Tutti i bilanci visti **finora sono bilanci di potenza** (carichi termici) che **fotografano gli scambi termici in singoli istanti**.

- Come fare per conoscere invece il **fabbisogno energetico** dell'edificio?

- **L'energia è importante perché è quella che:**
 - viene pagata in bolletta;
 - produce inquinamento;
 - determina la classe energetica di un edificio.

Bilanci dell'energia termica

BILANCI ENERGETICI

- L'energia è la potenza estesa per un certo intervallo di tempo:

$$Q_u = q_{u,m} \cdot \Delta t$$

Intervallo di tempo considerato [s] o [h]

Potenza termica utile media nell'intervallo di tempo considerato [W]

Energia termica utile necessaria [J] o [Wh]

Attenzione alle unità di misura!!

Se Δt è in [s], E è in [J]

Se Δt è in [h], E è in [Wh]

Se P_m è in [kW] i risultati sono risp. [kJ] e [kWh]

- Problema: quale intervallo temporale (Δt) prendere?**
- Se vogliamo l'energia annuale Δt dovrebbe essere pari ad un anno?

Bilanci dell'energia termica

BILANCI ENERGETICI: METODO STAGIONALE

Possibile soluzione (metodo stagionale):

- Si può spezzare il bilancio in due sotto-bilanci, uno per la stagione invernale ed uno per quella estiva:

$$Q_{u,sens,inv} = q_{u,sens,m,inv} \cdot \Delta t_{inv}$$

$$Q_{u,sens,est} = q_{u,sens,m,est} \cdot \Delta t_{est}$$

- In questo modo non si annullano la componente invernale con quella estiva.
- **Il risultato è soddisfacente? Quali sono i punti critici?**
- $q_{u,sens}$ dipende principalmente dai seguenti parametri variabili: temperatura, irraggiamento, utilizzo dei locali, ricambio dell'aria.
- Calcolare i valori medi stagionali $q_{u,sens,m,inv}$ e $q_{u,sens,m,est}$ significa considerare **un solo valore medio stagionale per tutti questi parametri.**
- E' soddisfacente? Dipende dalle finalità dello studio.
- Se è necessario un discreto grado di accuratezza sicuramente no!

Bilanci dell'energia termica

BILANCI ENERGETICI: METODO MENSILE

Altra soluzione (metodo mensile):

- Si può spezzare ulteriormente il bilancio stagionale in sotto-bilanci mensili, sommando poi per ogni stagione i risultati dei relativi mesi.

$$Q_{u,sens,inv} = \sum_{mese=1}^K q_{u,sens,m,mese} \cdot \Delta t_{mese}$$

$$Q_{u,sens,est} = \sum_{mese=K}^{12} q_{u,sens,m,mese} \cdot \Delta t_{mese}$$

Metodo adottato per realizzare la certificazione energetica degli edifici (norma UNI TS 11300-1-2:2014)



- In questo modo si ha un dettaglio energetico mensile.
- **Il risultato è soddisfacente?** Quali sono i punti critici?
- **Persistono ancora alcuni dei problemi del metodo mensile:** molti dei parametri hanno una forte variazione oraria durante le ore del giorno. Cosa che il metodo mensile continua ad ignorare. Esempio: d'estate se la temperatura oscilla tra 22° e 30° la media è 26° che è pari alla temperatura di interna comfort, quindi viene un $\Delta T=0$ e uno scambio termico nullo.
- E' soddisfacente? Dipende dalle finalità dello studio.

Bilanci dell'energia termica

BILANCI ENERGETICI: METODO ORARIO e SUB-ORARIO

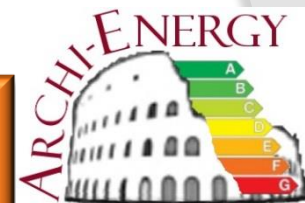
Soluzione migliore (metodo orario e sub-orario):

- Si può spezzare ulteriormente il bilancio mensile in sotto-bilanci orari o addirittura sub-orari, sommando poi per ogni stagione i risultati di ogni intervallo.

$$Q_{u,sens,inv} = \sum_{step=1}^S q_{u,sens,m,step} \cdot \Delta t_{step}$$

$$Q_{u,sens,est} = \sum_{step=1}^T q_{u,sens,m,step} \cdot \Delta t_{step}$$

Metodo adottato dai software dinamici di alto livello.



- In questo modo si ha un **dettaglio orario di tutte le grandezze**.
- E' l'unico metodo che **permette un'analisi dinamica** effettiva perché solo con time-step orario è **possibile simulare realisticamente gli edifici**, compresi gli effetti dinamici di accumulo di calore delle pareti, attenuazione e sfasamento.
- Si tratta di un **calcolo più complesso, necessita di più tempo e più competenze**.

Bilanci dell'energia termica

RIEPILOGO DEI METODI DI CALCOLO PER I BILANCI ENERGETICI

- **Metodi stagionali (statici)**

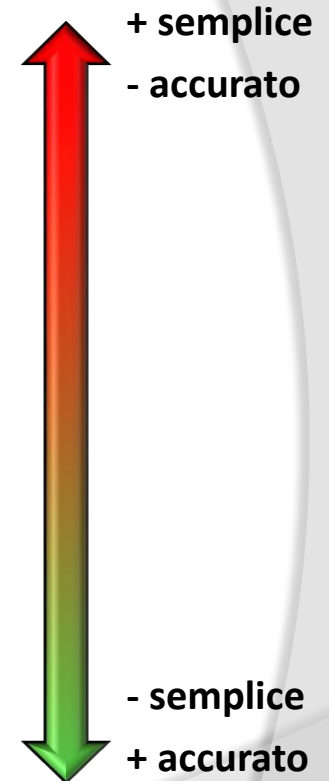
Viene effettuato un unico bilancio energetico medio per tutta la stagione di riscaldamento o raffrescamento.

- **Metodi mensili (statici)**

Viene effettuato un bilancio energetico medio mensile per ogni mese dell'anno.

- **Metodi orari o sub-orari (dinamici)**

Viene effettuato un calcolo dinamico (orario o sub-orario) del sistema edificio-impianto.



Bilanci termici degli edifici

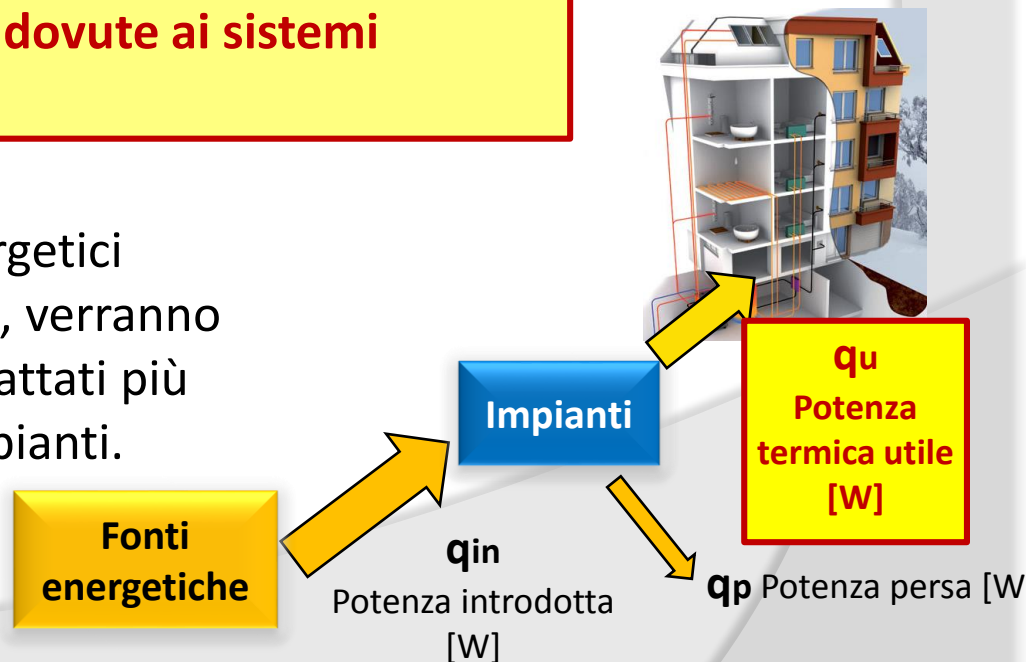
CONCLUSIONI

- Sono stati presentati i **principi su cui si basano i calcoli del carico termico e dei fabbisogni energetici utili degli edifici.**
- I **calcoli effettivi**, in particolare quelli energetici, sono **piuttosto complessi e solitamente vengono realizzati mediante software.**

- **IMPORTANTE!!**

La parola "**utile**" (o anche "**netta**") si riferisce al fatto che si tratta di **grandezze termiche effettivamente necessarie in ambiente, al netto delle perdite dovute ai sistemi impiantistici.**

- I carichi termici ed i fabbisogni energetici effettivi, comprensivi degli impianti, verranno accennati nelle prossime slides e trattati più approfonditamente nel corso di impianti.



GRAZIE DELL' ATTENZIONE

Ing. Marco Cecconi

marco.cecconi@ingenergia.it



IngEnergia

Condivisione della ricerca
sull'efficienza energetica