



Large Valorisation on Sustainability of Steel Structures

DOCUMENTAZIONE DI BASE: FASE D'USO - ENERGIA D'USO



June 2014



Indice

1) Quantificazione dell'energia in fase d'uso

- Introduzione
- Posizione dell'edificio e clima
- Metodo di calcolo del fabbisogno energetico
- Algoritmo per la quantificazione dell'energia (fase d'uso)

2) Calibrazione e validazione dell'algoritmo

- Comparto di riferimento (EN 15265:2007)
- Appartamento di riferimento (adattato da EN 15265:2007)
- Caso studio su un edificio residenziale

3) Commenti finali



1) Quantificazione dell'energia in fase d'uso

Introduzione

**L'algoritmo per la quantificazione
dell'energia durante la fase d'uso era
stato precedentemente sviluppato
nell'ambito del progetto di ricerca RFCS**



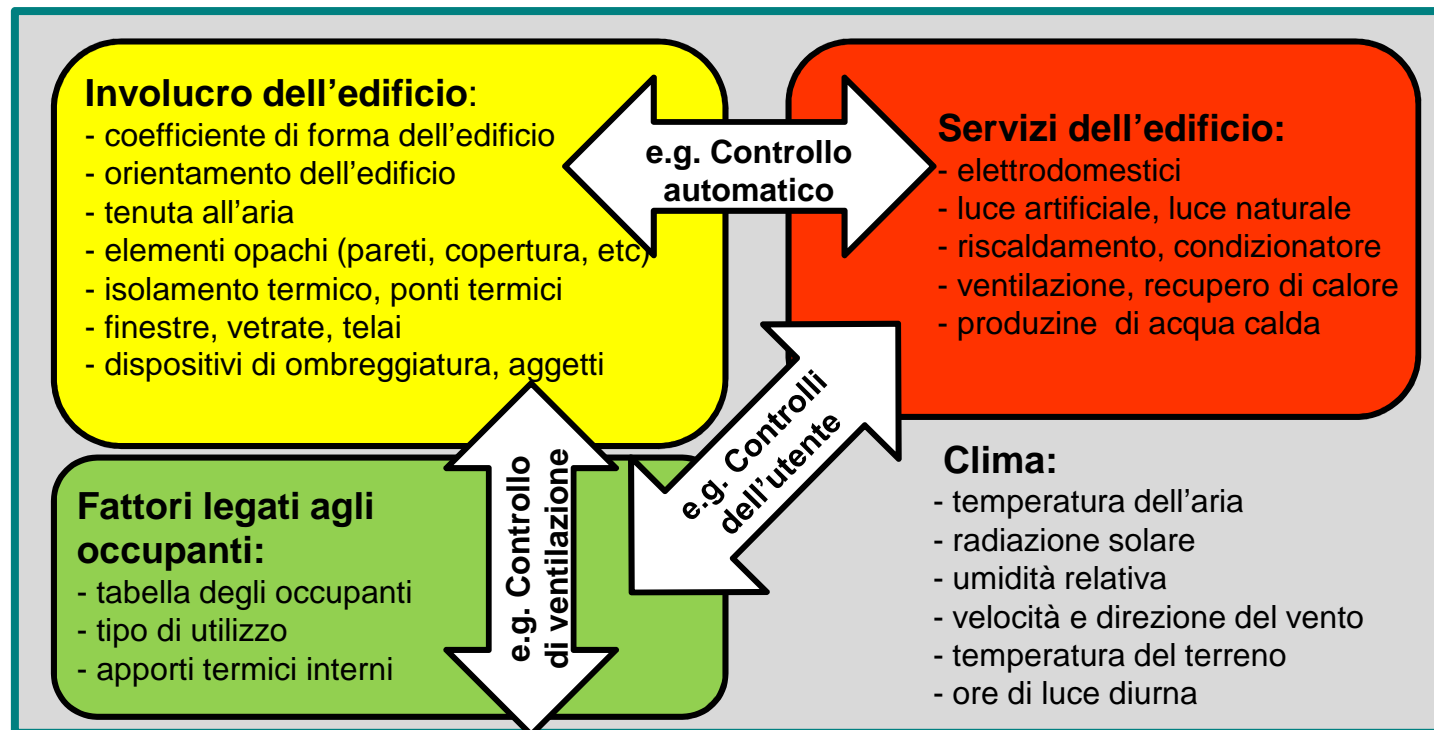
SB_Steel (2014), Sustainable Building Project in Steel. Draft final report. RFSR-CT-2010-00027. Research Programme of the Research Fund for Coal and Steel.



Introduzione

La prestazione termica e l'efficienza energetica degli edifici dipende da numerosi parametri.

Per questo motivo prevedere accuratamente l'energia in fase d'uso di un edificio diventa una sfida molto competitiva.



Questo tipo di analisi è ancora più difficile nelle fasi iniziali di progettazione, a causa della scarsa disponibilità e imprecisione dei dati in ingresso.



Posizione dell'edificio e clima

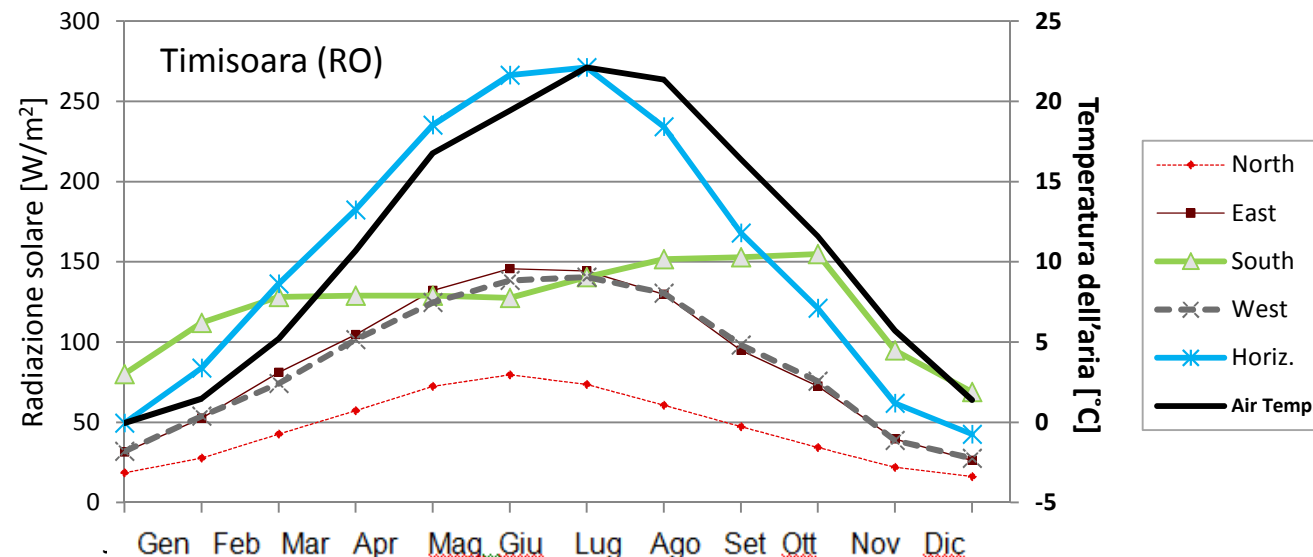
La posizione dell'edificio, in termini di condizioni climatiche, è di vitale importanza nei calcoli del comportamento termico. In relazione a questo tema, devono essere definiti due parametri climatici principali per un calcolo del fabbisogno energetico:

- Temperatura dell'aria;
- Radiazione solare incidente su una superficie con un determinato orientamento.

La maggior parte dei dati climatici sono stati ottenuti grazie al database del software di simulazione EnergyPlus (EERE-USDoE, 2014) e i restanti sono stati forniti dai progetti di ricerca correlati.

EERE-USDoE (2014), Energy Efficiency and Renewable Energy Website from the United States Department of Energy:

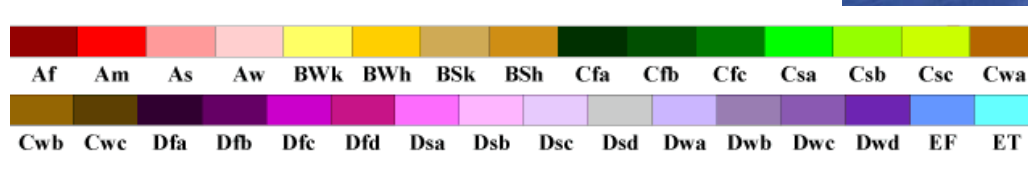
http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather_data2.cfm/?region=6_europe_wmo_region_6



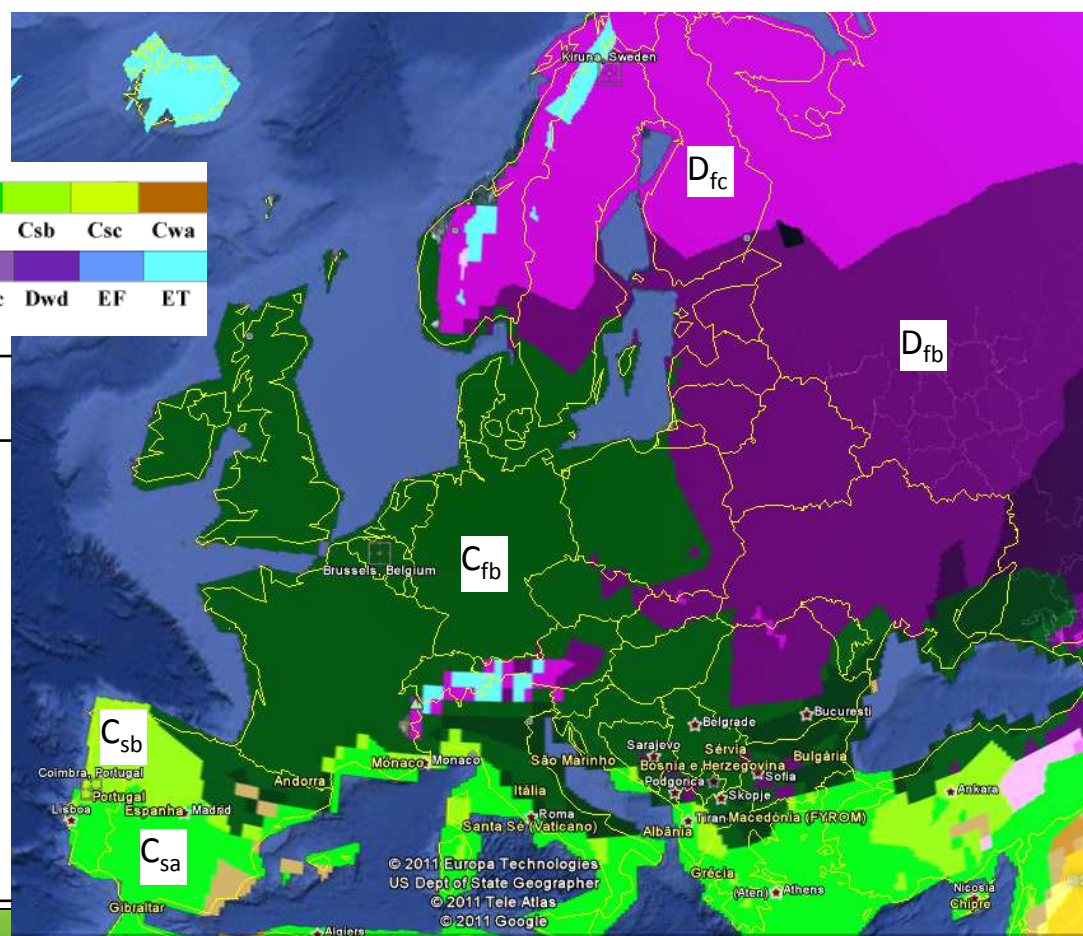


Posizione dell'edificio e clima

La metodologia è attualmente calibrata su cinque regioni climatiche, individuate secondo il noto sistema di classificazione climatica Köppen-Geiger: (i) Csa; (ii) Csb; (iii) Cfb; (iv) Dfb; (v) Dfc.



| Climi principali: | Precipitazioni: | Temperature: |
|-------------------|---------------------|----------------------------------|
| A: tropicale | W: deserto | h: caldo secco F: gelo polare |
| B: arido | S: steppe | k: freddo secco T: tundra polare |
| C: temperato | f: umido | |
| D: boreale | s: estate asciutta | a: estate calda |
| E: polare | w: inverno asciutto | b: estate mite |
| | m: clima monsonico | c: estate fresca |
| | | d: inverno molto freddo |





Posizione dell'edificio e clima

52 città nel database

| Città | Nazione | Regione climatica | Città | Nazione | Regione climatica | Città | Nazione | Regione climatica |
|-------------|------------|-------------------|-------------|-------------|-------------------|-----------|-----------------|-------------------|
| Amsterdam | Olanda | Cfb | Kiev | Ucraina | Dfb | Oslo | Norvegia | Dfb |
| Ankara | Turchia | Csb | Kiruna | Svezia | Dfc | Ostersund | Svezia | Dfc |
| Arhanglesk | Russia | Dfc | Cracovia | Polonia | Cfb | Parigi | Francia | Cfb |
| Atene | Grecia | Csa | La Coruña | Spagna | Csb | Porto | Portogallo | Csb |
| Barcellona | Spagna | Csa | Lisbona | Portogallo | Csa | Poznan | Polonia | Cfb |
| Berlino | Germania | Cfb | Ljubljana | Slovenia | Cfb | Praga | Repubblica Ceca | Cfb |
| Bilbao | Spagna | Cfb | Londra | Inghilterra | Cfb | Roma | Italia | Csa |
| Bratislava | Slovacchia | Cfb | Lublino | Polonia | Dfb | Salamanca | Spagna | Csb |
| Brussels | Belgio | Cfb | Madrid | Spagna | Csa | Sanremo | Italia | Csb |
| Cluj-Napoca | Romania | Dfb | Marsiglia | Francia | Csa | Siviglia | Spagna | Csa |
| Coimbra | Portogallo | Csb | Milano | Italia | Cfb | Stoccolma | Svezia | Dfb |
| Danzica | Polonia | Cfb | Minsk | Bielorussia | Dfb | Tampere | Finlandia | Dfc |
| Genova | Italia | Csb | Montpellier | Francia | Csa | Timisoara | Romania | Cfb |
| Graz | Austria | Dfb | Mosca | Russia | Dfb | Vienna | Austria | Dfb |
| Amburgo | Germania | Cfb | Monaco | Germania | Cfb | Varsavia | Polonia | Dfb |
| Helsinki | Finlandia | Dfb | Nantes | Francia | Cfb | Breslavia | Polonia | Cfb |
| Istanbul | Turchia | Csa | Nizza | Francia | Csb | | | |
| Katowice | Polonia | Cfb | Opole | Polonia | Cfb | | | |



Metodo di calcolo del fabbisogno energetico

L'algoritmo semplificato implementato in AMECO 3 permette di prevedere il fabbisogno di energia dell'edificio per:

- Riscaldamento ambiente;
- Raffrescamento ambiente;
- Produzione Acqua Calda Sanitaria (ACS).

Questo algoritmo si basa sulle prescrizioni contenute in numerosi standard internazionali.

Il calcolo dei consumi di riscaldamento e raffrescamento segue il metodo mensile quasi-stazionario fornito da **ISO 13790 (2008)**.

I fabbisogni energetici per la produzione di ACS si calcolano in accordo alle norme **EN 15316-3-1 (2007)**.

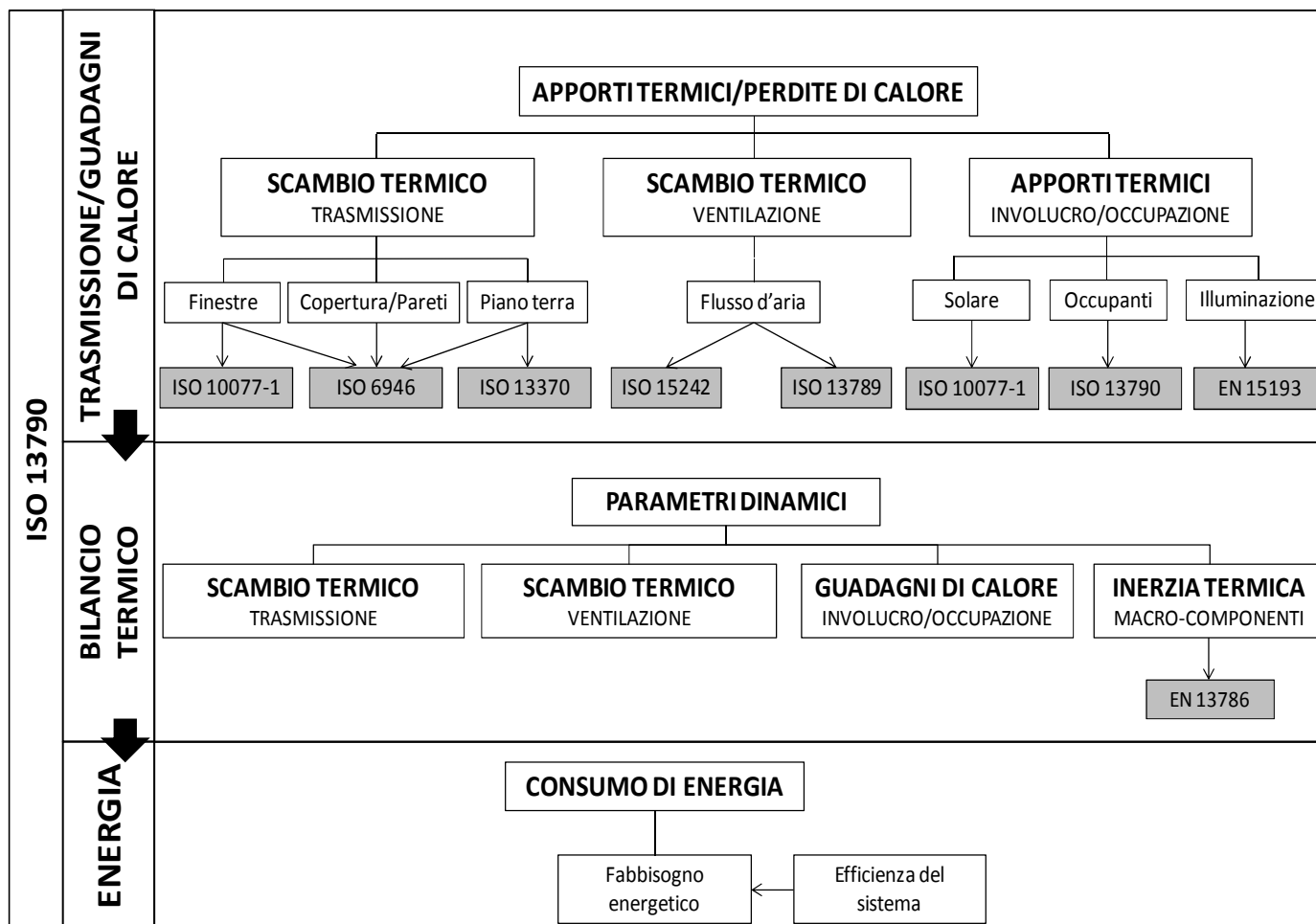
ISO 13790 (2008), Energy performance of buildings – Calculation of energy use for space heating and cooling, CEN – European committee for Standardization.

EN 15316-3-1 (2007), Heating systems in buildings – Method for calculation of system energy requirements and system efficiencies – Part 3.1 Domestic hot water systems, characterisation of needs (tapping requirements), CEN – European committee for Standardization.



Metodo di calcolo del bisogno di energia

Metodo mensile quasi-stazionario





Algoritmo per la quantificazione dell'energia (fase d'uso)

Dati in ingresso principali

POSIZIONE DELL'EDIFICIO → relativo al clima (per una specifica città o regione climatica):

- i) temperatura dell'aria;
- ii) radiazione solare su una superficie con un dato orientamento.

TIPO DI EDIFICIO: e.g. residenziale, uffici, commerciale o industriale.

INVOLUCRO DELL'EDIFICIO basato su macro-componenti (e.g. pareti, piani, coperture, piano terra, aperture).

DIMENSIONI DELL'EDIFICIO E ORIENTAMENTO (e.g. lunghezza, larghezza, altezza e numeri di piani).

CONDIZIONI INTERNE: regolazione di riscaldamento e raffrescamento, quantità del flusso d'aria relativo alla ventilazione.

IMPIANTI DELL'EDIFICIO per riscaldamento e raffrescamento ambiente, e produzione di acqua calda sanitaria.

Risultati principali

Energia per riscaldamento, raffrescamento e produzione di ACS.

Bilancio termico con i principali elementi dell'edificio (e.g. pareti, copertura, finestre).



Algoritmo per la quantificazione dell'energia (fase d'uso)

Procedure principali per il calcolo del Fabbisogno Energetico relativo al

RISCALDAMENTO ambiente, $Q_{H,nd}$:

1) Bilancio termico considerando riscaldamento CONTINUO:

→ (dispersioni termiche)

a) $Q_{H,ht}$ Scambio termico totale (per trasmissione e per ventilazione)

b) $Q_{H,gn}$ Apporto termico totale (interno + solare)

c) $\eta_{H,gn}$ Fattore di utilizzazione degli apporti termici

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

2) Correzione per l'impianto di riscaldamento ad INTERMITTENZA:

a) Coefficiente di riduzione per riscaldamento ad intermittenza ($a_{H,red}$)

$$Q_{H,nd,interm} = a_{H,red} Q_{H,nd,cont}$$



Algoritmo per la quantificazione di energia (fase d'uso)

Procedure principali per il calcolo del Fabbisogno Energetico relativo al

RAFFRESCAMENTO * ambiente, $Q_{C,nd}$:

1) Bilancio termico considerando raffrescamento CONTINUO:

- a) $Q_{C,ht}$ Scambio termico totale (per trasmissione + ventilazione)
- b) $Q_{C,gn}$ Apporto termico totale (interno + solare)
- c) $\eta_{C,ls}$ Fattore di utilizzazione delle dispersioni per il raffrescamento

Confronto con
la modalità di
riscaldamento

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

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

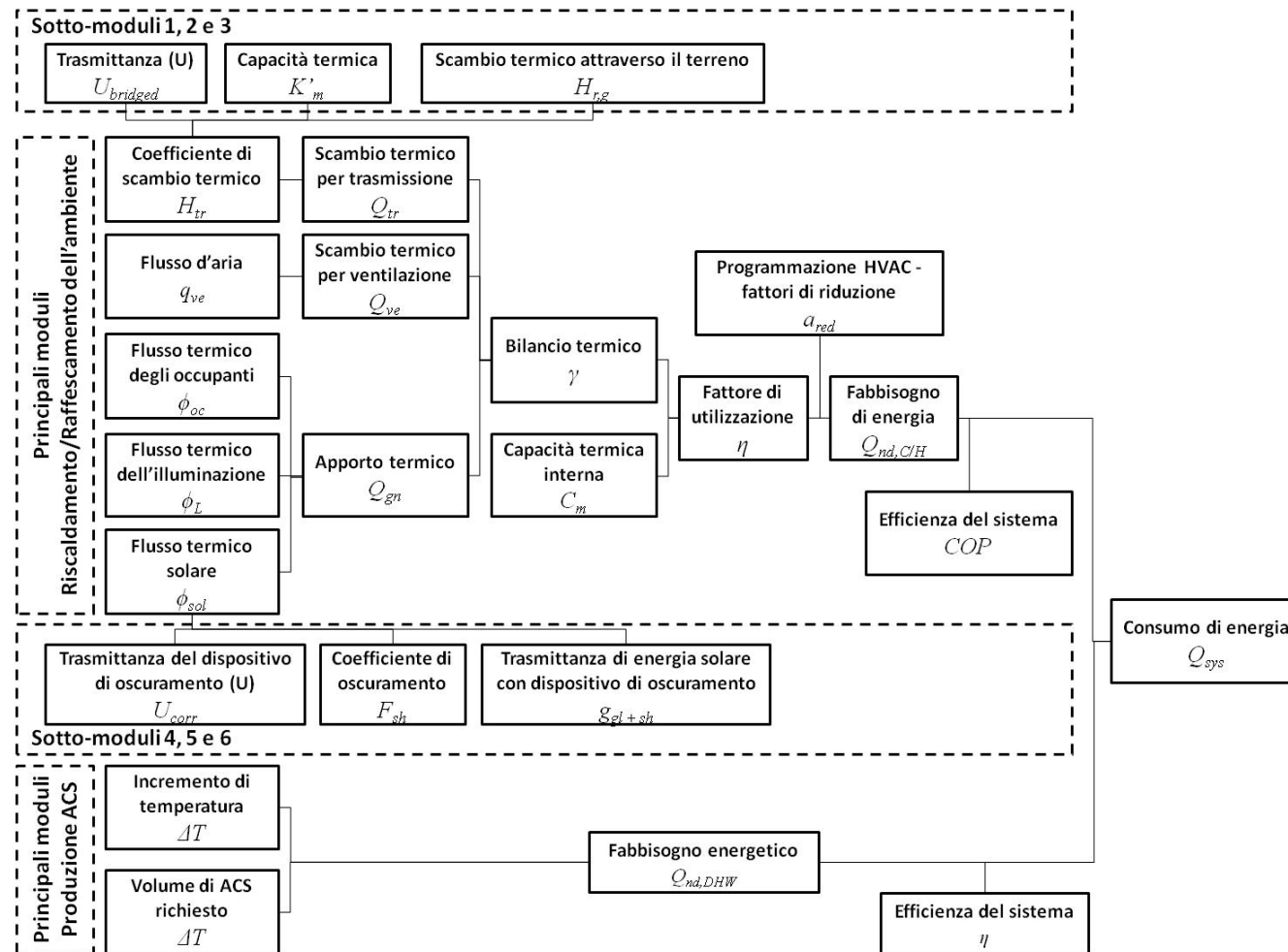
2) Correzione per l'impianto di raffrescamento ad INTERMITTENZA:

- a) Coefficiente di riduzione per il raffrescamento ad intermittenza

* Approccio simile al modello per il riscaldamento



Algoritmo per la quantificazione dell'energia (fase d'uso)





2) Calibrazione e validazione dell'algoritmo

Calcolo del fabbisogno energetico

L'algoritmo implementato per il calcolo del fabbisogno energetico per il riscaldamento/raffrescamento ambiente di un edificio ha seguito diverse procedure di calibrazione e la sua precisione è stata verificata a diversi livelli ([Santos et al. 2014](#)):

- Vano di riferimento ([EN 15265:2007](#));
- Edificio residenziale multi-comparto (adattato da [EN 15265:2007](#));
- Caso studio - edificio residenziale.

P. SANTOS; R. MARTINS; H. GERVÁSIO; L. SIMÕES DA SILVA, "Assessment of building operational energy at early stages of design – A monthly quasi-steady-state approach", *Energy and Buildings* (ISSN: 0378-7788), vol. 79, pp. 58–73, 2014.

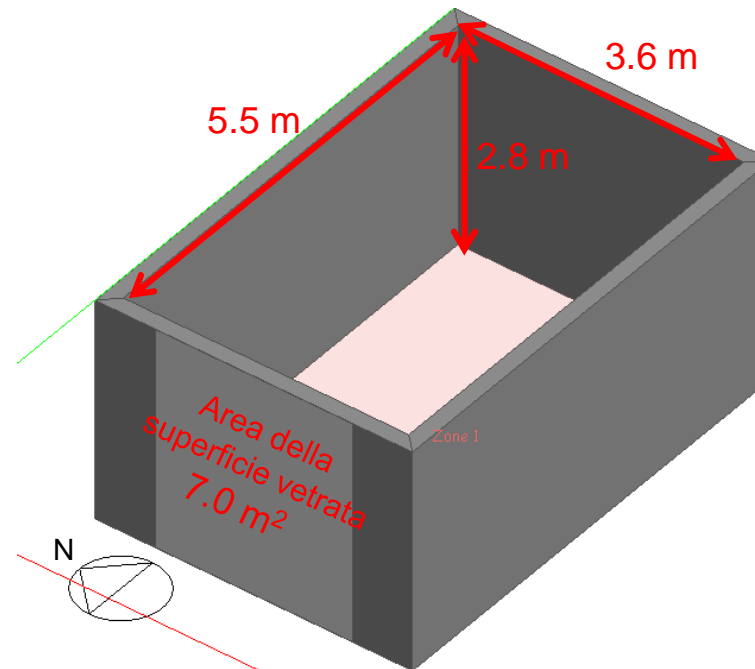
EN 15265 (2007), Energy performance of buildings - Calculation of energy needs for space heating and cooling using dynamic methods - General criteria and validation procedures. CEN - European Committee for Standardization.



Comparto di riferimento (EN 15265:2007)

Questa norma prescrive una serie di 12 casi – studio, considerando un singolo vano (comparto) adibito ad ufficio.

| | |
|------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| (Informativo) | Test 1 Caso di riferimento Test 2 Maggiore inerzia termica Test 3 Nessun apporto termico Test 4 Nessuna protezione solare |
| HVAC ad intermittenza (Normativa) | Test 5 = Test1 + Test 6 = Test2 + Test 7 = Test3 + Test 8 = Test4 + <div style="text-align: center;"> HVAC solo 8h00-18h00 da Lunedì a Venerdì </div> |
| HVAC ad intermittenza+ copertura esterna (Normativa) | Test 9 = Test5 + Test 10 = Test6 + Test 11 = Test7 + Test 12 = Test8 + <div style="text-align: center;"> Copertura esterna </div> |

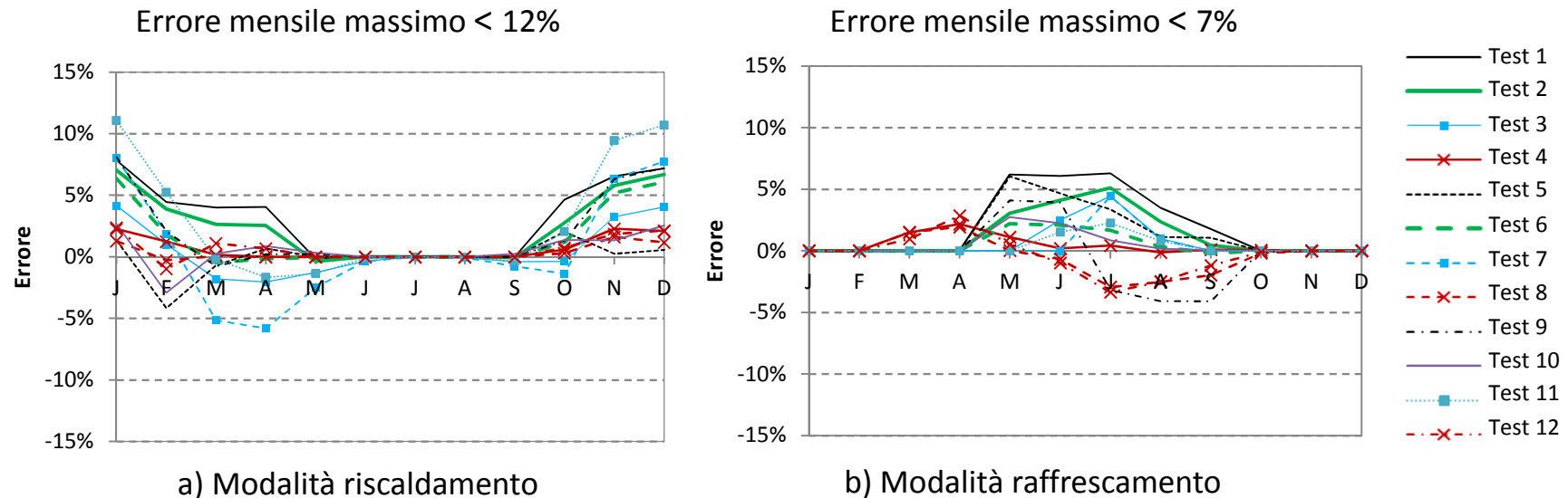


Questi casi-studio permettono di verificare l'influenza di determinati parametri-chiave nell'algoritmo per il calcolo dell'energia, come: dispositivi di ombreggiamento, massa termica, impianti HVAC ad intermittenza o continui, apporti termici interni, etc.



Comparto di riferimento (EN 15265:2007)

La precisione dell'algoritmo dipende dal caso-studio, dal mese e dalla modalità riscaldamento o raffreddamento.

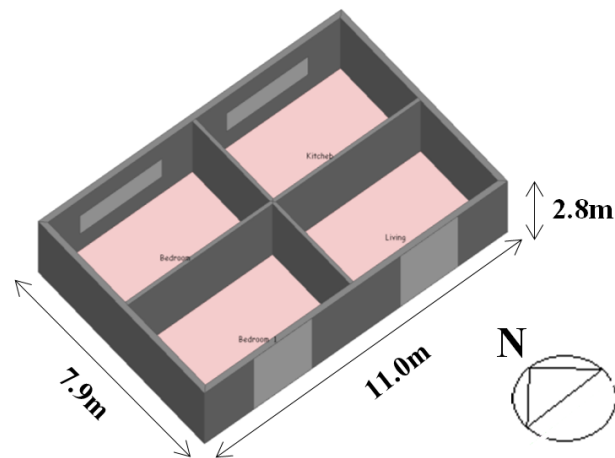


Precisione mensile dell'algoritmo di riscaldamento/raffreddamento ambiente:
dodici casi-studio prescritti dalla norma EN 15265:2007.



Edificio di riferimento (adattato da EN 15265:2007)

L'algoritmo mensile ha lo scopo di stimare il fabbisogno energetico degli edifici perciò non si focalizza solo su un singolo comparto dell'edificio come prescritto nelle norme **EN 15265 (2007)**, ma tutte le calibrazioni sono state effettuate considerando una nuova serie di casi-studio basati sulle caratteristiche di un edificio reale (un appartamento), come illustrato di seguito.



a) Modello dell'edificio (dimensioni interne)

| Elemento | U-value [W/m ² .K] | K_m [J/m ² .K] |
|----------------|----------------------------------|--------------------------------|
| Parete esterna | 0.493 | 81297 |
| Parete interna | - | 9146 |
| Copertura | 0.243 | 6697 |
| Piano terra | - | 63380 |

K_m Capacità termica per unità di area

b) Proprietà termiche dell'involucro

| Test | GFR [%] | NGWR [%] | SGWR [%] | Oscurante |
|------|---------|----------|----------|-----------|
| T1 | 35 | 36 | 54 | ON |
| T2 | | | | OFF |
| T3 | 25 | 20 | 40 | ON |
| T4 | | | | OFF |
| T5 | 15 | 12 | 24 | ON |
| T6 | | | | OFF |

GFR: rapporto tra superficie vetrata e il pavimento; NGWR: rapporto tra superficie vetrata orientata a nord e la parete; SGWR: rapporto tra la superficie vetrata orientata a sud e la parete.

c) Variabili principali dei casi-prova

Edificio di riferimento usato per calibrare i fattori di correzione





Caso studio edificio residenziale

Edificio residenziale a due piani, con struttura in acciaio leggero (LSF), ubicato a Coimbra.



Vista sud-ovest

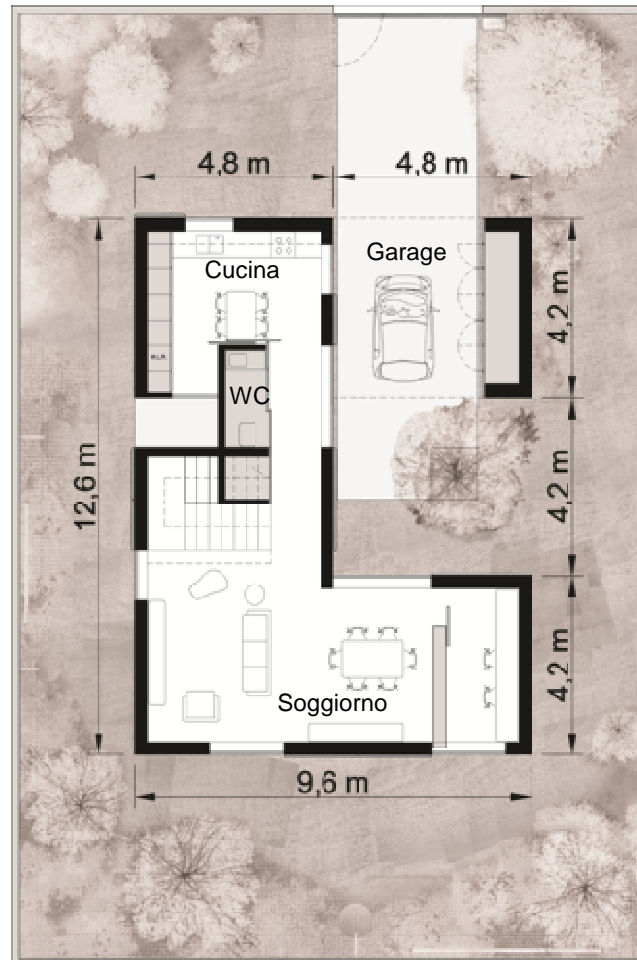
Vista nord-ovest



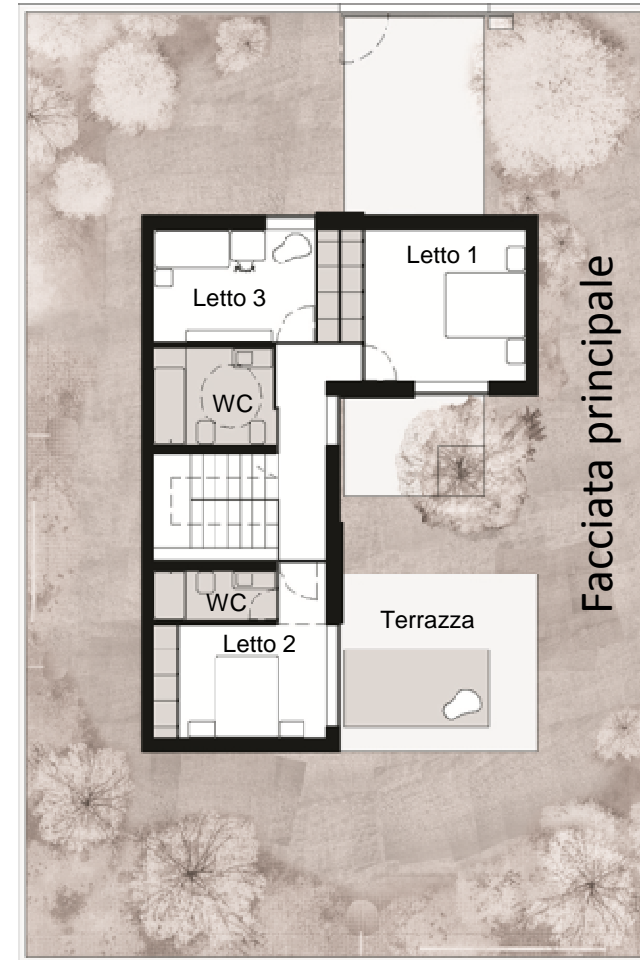


Caso studio edificio residenziale

Piano terra



Primo piano



Facciata principale

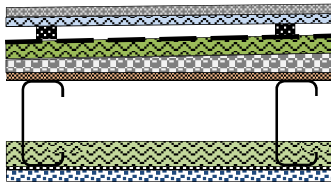
Piante dei piani
dell'edificio



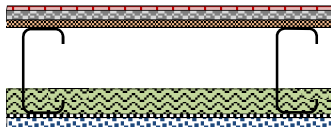
Caso studio edificio residenziale

Involucro opaco:

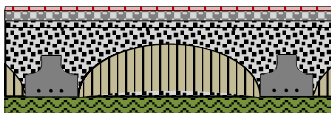
Solaio di copertura



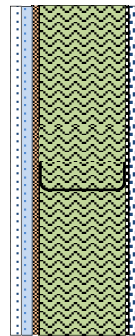
Solaio interpiano



Solaio piano terra



Parete esterna Parete interna



Proprietà termiche:

| Elemento | U-value | |
|---------------------|-----------------------|-----------------------|
| | [W/m ² .K] | [J/m ² .K] |
| Solaio di copertura | 0.37 | 13435 |
| Solaio interpiano | - | 61062 |
| Solaio piano terra | 0.60 | 65957 |
| Parete esterna | 0.29 | 13391 |
| Parete interna | - | 26782 |

Involucro trasparente: Proprietà termiche:

| Materiali | U-value [W/m ² .K] | SHGC |
|------------------------------------------------------------------|----------------------------------|------|
| Telaio PVC e doppi vetri (8+6 mm, con intercapedine di 14 mm) | 2.60 | 0.78 |

SHGC – Coefficiente di apporto termico solare

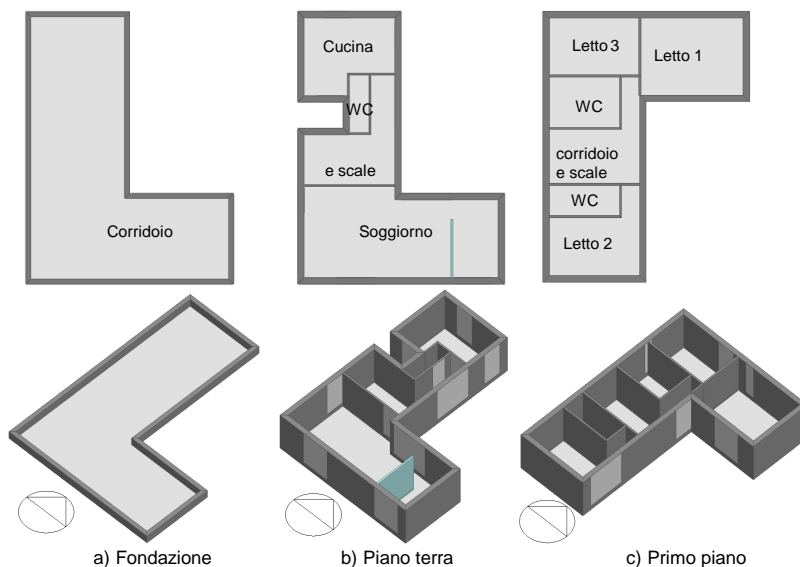


Caso studio edificio residenziale

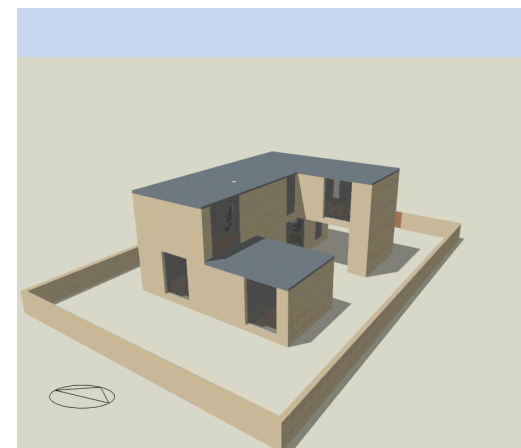
I risultati di riferimento per questo edificio sono stati ottenuti da simulazioni dinamiche avanzate

Software:  **DesignBuilder** SOFTWARE  **EnergyPlus**

Il modello è stato assemblato utilizzando 10 zone termiche



Configurazione dei piani



Vista 3d del modello DsB

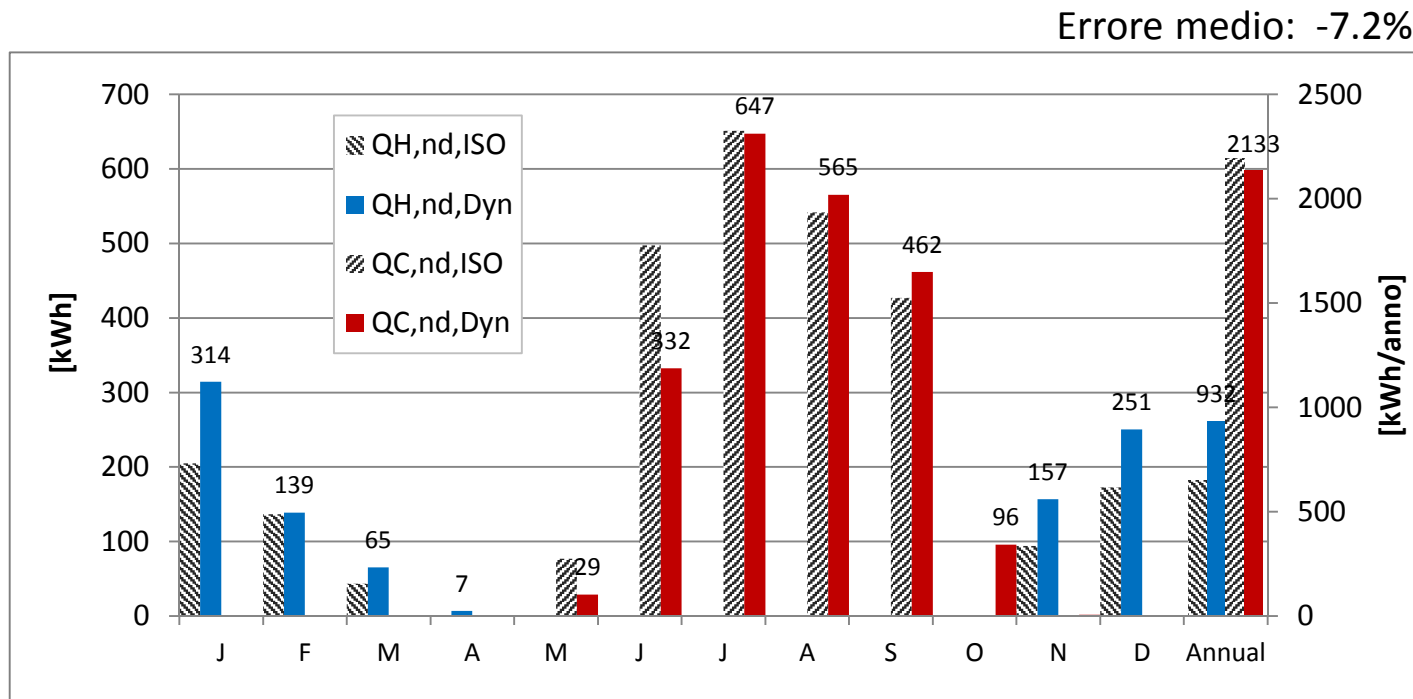


Evoluzione delle ombre (10 Ago).



Caso studio edificio residenziale

Risultati ottenuti:



Fabbisogno energetico dell'edificio per raffrescamento e riscaldamento ambiente: confronto tra simulazioni dinamiche (Dyn) e algoritmo mensile (ISO)



3) Commenti finali

- La valutazione dell'energia incorporata e in fase d'uso è essenziale per definire un'analisi sul ciclo di vita.
- Stimare accuratamente il fabbisogno energetico in fase d'uso di un edificio non è un argomento di facile soluzione poichè dipende da numerosi parametri.
- Un algoritmo semplificato è stato implementato per quantificare sia il fabbisogno energetico per riscaldamento/raffrescamento ambiente, sia per la produzione di ACS, in accordo ad alcune norme internazionali.
- La precisione del metodo mensile quasi-stazionario, fornito dalle norme ISO 13790, è stato verificato confrontandolo con alcune simulazioni dinamiche avanzate.
- Attraverso il confronto dei risultati si deduce che la precisione di questo approccio ha un margine di errore molto ragionevole (errore < 10%).