



Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie,
l'Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile



Ministero dello Sviluppo Economico

RICERCA DI SISTEMA ELETTRICO

Strumenti di calcolo e dati di riferimento per la certificazione energetica degli edifici

V. Corrado, S. Paduos



STRUMENTI DI CALCOLO E DATI DI RIFERIMENTO PER LA CERTIFICAZIONE ENERGETICA
DEGLI EDIFICI

V. Corrado, S. Paduos (Dipartimento di Energetica, Politecnico di Torino)

Settembre 2010

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico – ENEA

Area: Usi finali

Tema: Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione.

Responsabile Tema: Gaetano Fasano, ENEA

INDICE

1. Introduzione
2. Applicazione della UNI/TS 11300
 - 2.1. Flow-chart per l'applicazione della UNI/TS 11300 (parti 1, 2 e 3)
 - 2.2. Descrizione del foglio di calcolo
 - 2.2.1. Dati edificio
 - 2.2.2. Dati relativi alle singole zone termiche
 - 2.2.3. Dati climatici
 - 2.2.4. Calcolo degli apporti solari
 - 2.2.5. Calcolo del fabbisogno di energia termica
 - 2.2.6. Calcolo del fabbisogno di energia primaria
 - 2.3. Linee guida per l'utilizzo del tool di certificazione
 - 2.3.1. Reperimento e la formalizzazione dei dati di input
 - 2.3.2. Utilizzo di dati precalcolati
 - 2.3.3. Condizioni al contorno
3. Validazione della UNI/TS 11300
 - 3.1. Descrizione del modello di simulazione
 - 3.1.1. Dati di ingresso in EnergyPlus
 - 3.2. Primo caso studio
 - 3.2.1. Descrizione dell'edificio: torre uffici
 - 3.2.2. Simulazione del caso studio (EnergyPlus)
 - 3.2.3. Applicazione della UNI/TS 11300 al caso studio
 - 3.2.4. Analisi di sensibilità sulle deviazioni dei risultati
 - 3.3. Secondo caso studio
 - 3.3.1. Descrizione dell'edificio: complesso universitario
 - 3.3.2. Simulazione del caso studio (EnergyPlus)
 - 3.3.3. Applicazione della UNI/TS 11300 al caso studio
 - 3.3.4. Analisi di sensibilità sulle deviazioni dei risultati
 - 3.4. Aspetti particolari del calcolo
 - 3.4.1. Effetto dell'ombreggiamento
 - 3.4.2. Parametri dinamici
 - 3.4.3. Scambio termico verso il terreno e verso ambienti non riscaldati
 - 3.4.4. Ponti termici
 - 3.4.5. Impianti di climatizzazione non convenzionali
4. Bibliografia

1. INTRODUZIONE

Nell'ambito dell'accordo di collaborazione tra ENEA e Politecnico di Torino si è sviluppata una attività di ricerca dal titolo "*Sviluppo di strumenti di calcolo e dati di riferimento per la certificazione energetica degli edifici e partecipazione ai gruppi di lavoro della IEA-ECBCS*".

In tale ambito si è inquadrata l'attività B: Modelli di calcolo (Programmi, Software, Tool) coordinata dal prof. Vincenzo Corrado, con il supporto dell'arch. Simona Paduos, assegnista di ricerca. Tale attività ha avuto un duplice obiettivo:

1. supporto scientifico allo sviluppo di un tool di certificazione basato sull'applicazione delle UNI/TS 11300;
2. validazione della UNI/TS 11300 per la certificazione di edifici complessi.

Il principale strumento di indagine è il codice di simulazione dinamica EnergyPlus, che è stato utilizzato come modello di calcolo di riferimento.

È stato inoltre sviluppato un foglio di calcolo per l'applicazione trasparente delle UNI/TS 11300 e il confronto con altri metodi semplificati (norme CEN EPBD).

L'attività sviluppata dalla Unità di Ricerca del Politecnico di Torino ha riguardato l'analisi di diverse tipologie edilizie e destinazioni d'uso (residenziale e terziario) e ha compreso le seguenti fasi:

Relativamente all'attività di supporto scientifico allo sviluppo di un tool di certificazione:

1. definizione di un flow-chart per l'applicazione della UNI/TS 11300 (parti 1, 2 e 3)
2. messa a punto del foglio di calcolo per l'applicazione della UNI/TS 11300
3. stesura di linee guida per l'utilizzo del tool di certificazione
 - a. regole per il reperimento e la formalizzazione dei dati di input
 - b. regole per l'utilizzo di dati precalcolati
 - c. definizione delle condizioni al contorno

Relativamente all'attività di validazione della UNI/TS 11300:

1. definizione dei casi studio
2. simulazioni dei casi studio con il codice di calcolo EnergyPlus
3. applicazione della UNI/TS 11300 ai casi studio
4. analisi di sensibilità sulle deviazioni dei risultati finali e intermedi del calcolo per verificare la robustezza del metodo semplificato
5. analisi di aspetti particolari del calcolo: ad. es. effetto dell'ombreggiamento, parametri dinamici, scambio termico verso il terreno, ponti termici, impianti di climatizzazione non convenzionali.

2. APPLICAZIONE DELLA UNI/TS 11300

Un requisito essenziale per l'adozione delle misure previste dalla Direttiva Europea 2002/91 sul rendimento energetico degli edifici (EPBD) è l'esistenza di uno schema generale che definisca la metodologia di calcolo della prestazione energetica globale degli edifici. A tal fine la Commissione Europea ha dato mandato al CEN (ente normatore europeo) perché mettesse a punto:

- una metodologia di calcolo condivisa della prestazione energetica degli edifici;
- metodi di valutazione adattabili alla certificazione energetica;
- linee guida generali per l'ispezione di caldaie, impianti di riscaldamento e di condizionamento dell'aria.

La normativa europea di recente pubblicazione comprende oltre 40 norme tecniche, pubblicate dal CEN e recepite dall'UNI.

Come riportato nella UNI EN ISO 15603, la valutazione energetica di un edificio può essere effettuata secondo diverse procedure. Si distinguono la valutazione d'esercizio (*operational rating*), basata sulla lettura dei consumi reali, e la valutazione di calcolo (*calculated rating*), la quale può ancora essere classificata in base alle condizioni al contorno. La metodologia più appropriata di valutazione energetica dipende dal tipo di applicazione (tabella 2.1).

Tabella 2.1 - Tipi di valutazione energetica.

Tipo di valutazione	Determinazione della prestazione	Dati d'ingresso			Funzione o scopo
		Utenza	Clima	Edificio	
di Progetto	Calcolata	Standard	Standard	Progetto	Permesso di costruire, Certificato energetico del progetto
Standard		Standard	Standard	Reale	Certificato energetico, Verifica di requisiti di legge
Adattata all'utenza		A seconda dello scopo		Reale	Ottimizzazione, Validazione, Progetto di riqualificazione
d'Esercizio	Misurata	Reale	Reale	Reale	Certificato energetico, Verifica di requisiti di legge

Le nuove norme tecniche europee si articolano secondo la seguente classificazione:

- 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 delle prestazioni energetiche

Secondo la normativa tecnica il calcolo della prestazione energetica dell'edificio si struttura in tre livelli (figura 2.1):

- calcolo dei fabbisogni termici netti di energia per il riscaldamento e il raffrescamento dell'edificio (UNI EN ISO 13790 e norme collegate);
- calcolo dell'energia erogata agli impianti di riscaldamento e raffrescamento, ventilazione, condizionamento, produzione di acqua calda sanitaria e illuminazione artificiale;
- calcolo degli indicatori di prestazione energetica globale, espressa in termini di energia primaria, emissioni di CO₂, etc. (UNI EN 15603).

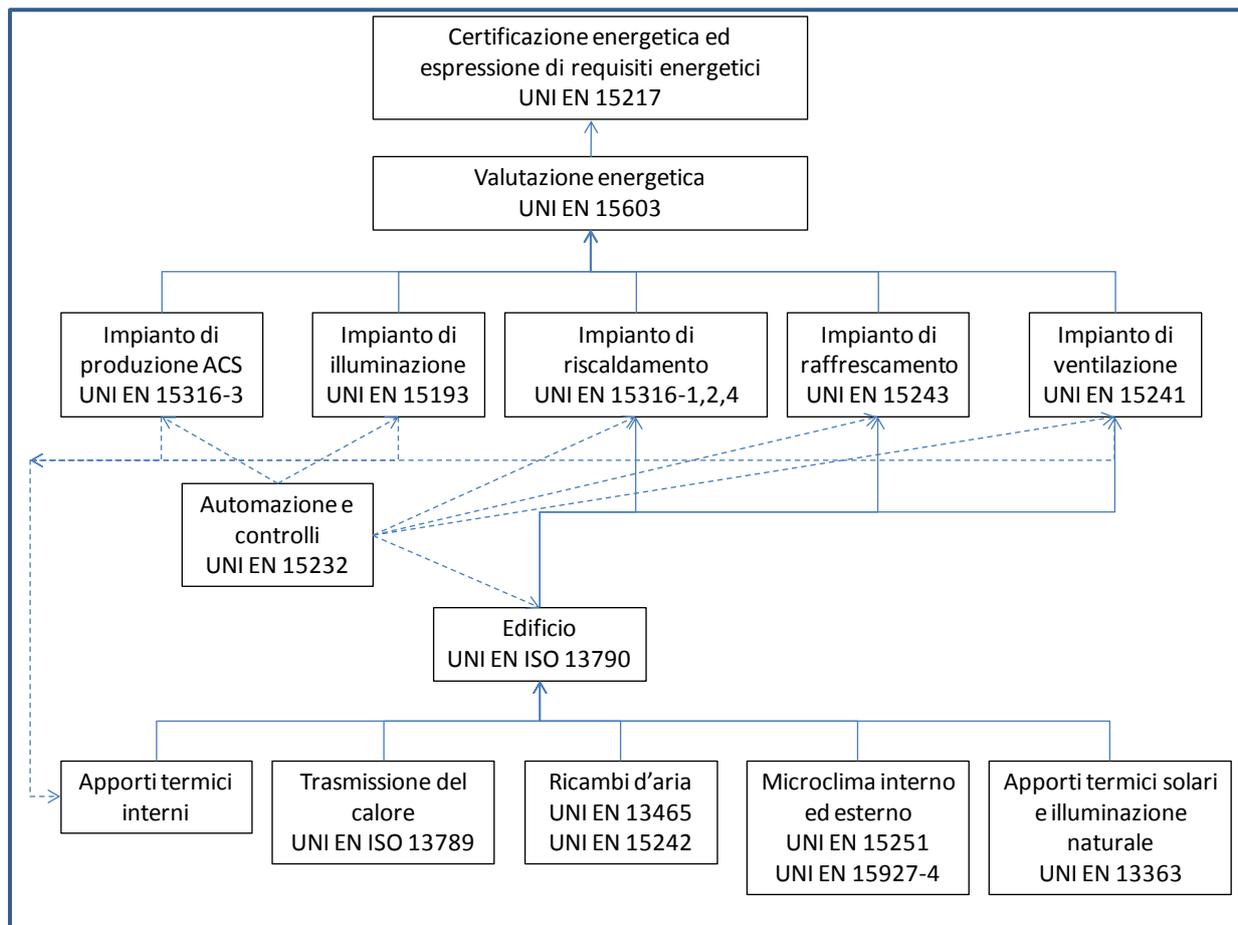


Figura 2.1 - Schema della nuova normativa tecnica europea per il calcolo della prestazione energetica degli edifici.

Nella sua complessa struttura, la normativa europea descrive diversi metodi di calcolo alternativi e definisce, per ciascun metodo, una serie di valori di default dei parametri di calcolo. Ai singoli paesi si consente di scegliere il metodo ritenuto più adatto e definire su base nazionale i valori di alcuni parametri, per meglio adattare l'applicazione del metodo alle condizioni climatiche e alle tipologie costruttive ed impiantistiche locali.

In tale contesto, l'UNI e il CTI hanno messo a punto una serie di norme nazionali (UNI/TS 11300), finalizzate all'applicazione delle norme europee in Italia, con particolare riferimento alle procedure di verifica e valutazione previste dalla legislazione energetica nazionale (figura 2.2). Il pacchetto delle norme UNI/TS 11300 "Prestazioni energetiche degli edifici" è suddiviso in quattro parti:

- 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 – Marzo 2010
- 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)

Per quanto riguarda le parti della UNI/TS 11300 già pubblicate:

- la UNI/TS 11300-1 definisce le linee guida per l'applicazione nazionale della norma UNI EN ISO 13790:2008 con riferimento al metodo mensile quasi-stazionario per il calcolo dei fabbisogni netti di energia per riscaldamento e per raffrescamento;
- la UNI/TS 11300-2 fornisce dati e metodi per la determinazione del fabbisogno di energia utile per la preparazione dell'acqua calda sanitaria, delle perdite e dei fabbisogni di energia elettrica dei sistemi di riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria, del fabbisogno annuo specifico di energia primaria per la climatizzazione invernale e per la preparazione dell'acqua calda per usi igienico sanitari, del rendimento globale medio stagionale;
- la UNI/TS 11300-3 consente di determinare i rendimenti e i fabbisogni di energia dei sistemi di climatizzazione estiva, nonché i fabbisogni di energia primaria; tale norma si applica a sistemi di nuova progettazione, ristrutturati o esistenti, sia per il solo raffrescamento, sia per la climatizzazione estiva.

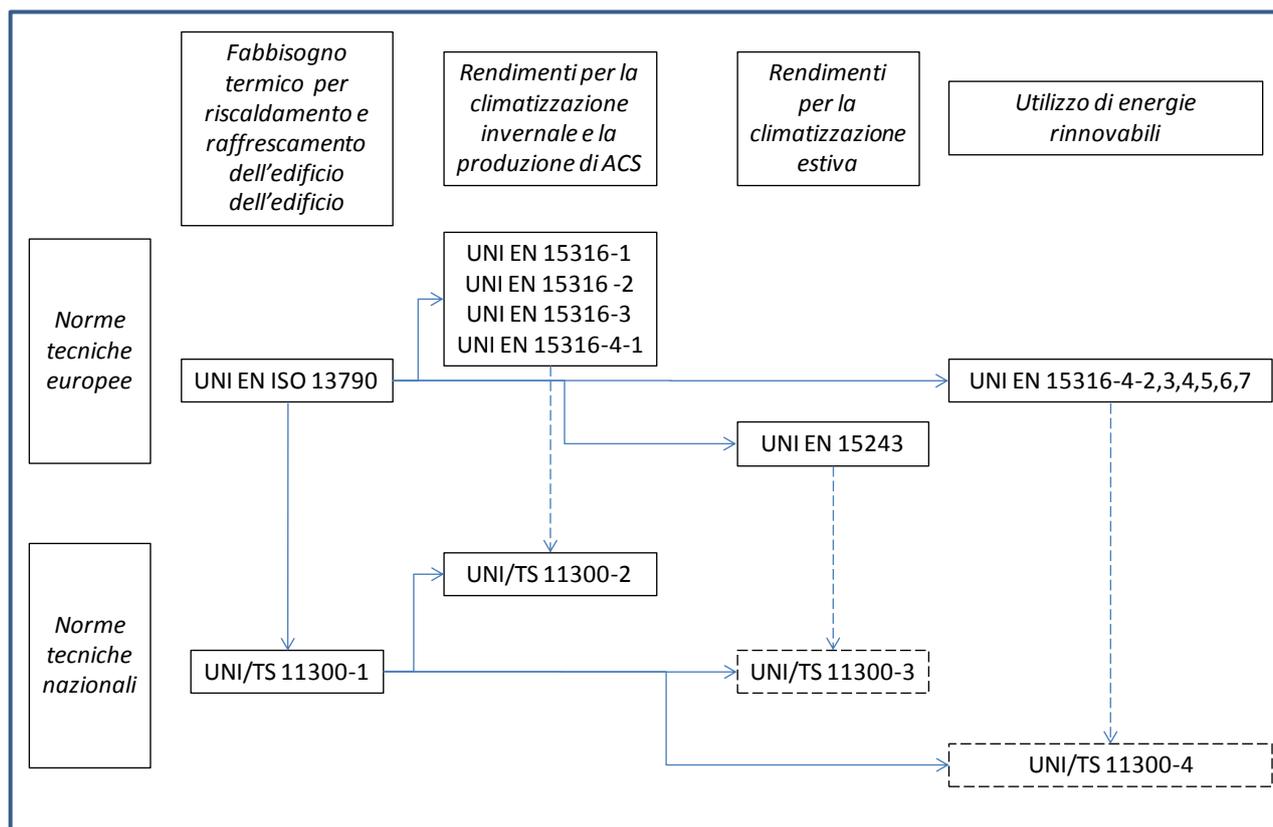


Figura 2.2 - Relazione tra la normativa tecnica europea e quella italiana per il calcolo del fabbisogno di energia per la climatizzazione degli edifici.

La procedura di calcolo delle UNI/TS 11300 prevede le seguenti fasi:

- 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 termica per il riscaldamento ($Q_{H,nd}$) e il raffrescamento ($Q_{C,nd}$);
- 5) calcolo dei rendimenti impiantistici e dei fabbisogni di energia primaria (Q_p);
- 6) aggregazione dei risultati relativi alle diverse zone servite dagli stessi impianti.

I fabbisogni netti di energia per riscaldamento e raffrescamento si calcolano, per ogni zona dell'edificio e per ogni mese, come:

$$Q_{H,nd} = Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} \cdot Q_{gn} = (Q_{H,tr} + Q_{H,ve}) - \eta_{H,gn} \cdot (Q_{int} + Q_{sol}) \quad (1)$$

$$Q_{C,nd} = Q_{gn} - \eta_{C,ls} \cdot Q_{C,ht} = (Q_{int} + Q_{sol}) - \eta_{C,ls} \cdot (Q_{C,tr} + Q_{C,ve}) \quad (2)$$

dove $Q_{H/C,nd}$ è il fabbisogno netto di energia dell'edificio per riscaldamento/ raffrescamento; $Q_{H/C,ht}$ è lo scambio termico totale nel caso di riscaldamento/ raffrescamento; $Q_{H/C,tr}$ è lo scambio termico per trasmissione nel caso di riscaldamento/raffrescamento; $Q_{H/C,ve}$ è lo scambio termico per ventilazione nel caso di riscaldamento/raffrescamento; Q_{gn} sono gli apporti termici totali; Q_{int} sono gli apporti termici interni; Q_{sol} sono gli apporti termici solari; $\eta_{H,gn}$ è il fattore di utilizzazione degli apporti termici; $\eta_{C,ls}$ è il fattore di utilizzazione delle dispersioni termiche.

Il fabbisogno di energia primaria per il riscaldamento dell'edificio può essere ottenuto come:

$$Q_{p,H,W} = \sum Q_{H,c,i} \cdot f_{p,i} + \sum Q_{W,c,j} \cdot f_{p,j} + (Q_{H,aux} + Q_{W,aux} + Q_{INT,aux} - Q_{el,exp}) f_{p,el} \quad (3)$$

dove,

$Q_{H,c,i}$ è il fabbisogno di energia per riscaldamento ottenuto da ciascun vettore energetico i (combustibili, energia elettrica, ecc.), che nel caso di combustibili è dato dalla quantità utilizzata per il potere calorifico inferiore, mentre nel caso di energia elettrica dalla quantità utilizzata;

$f_{p,i}$ è il fattore di conversione in energia primaria del vettore energetico i ;

$Q_{W,c,j}$ è il fabbisogno di energia per acqua calda sanitaria ottenuto da ciascun vettore energetico j (combustibili, energia elettrica, ecc.), che nel caso di combustibili è dato dalla quantità utilizzata per il potere calorifico inferiore, mentre nel caso di energia elettrica dalla quantità utilizzata;

$Q_{H,aux}$ è il fabbisogno di energia elettrica per ausiliari degli impianti di riscaldamento;

$Q_{W,aux}$ è il fabbisogno di energia elettrica per gli ausiliari degli impianti di produzione acqua calda sanitaria;

$Q_{INT,aux}$ è il fabbisogno di energia elettrica per ausiliari di eventuali sistemi che utilizzano energie rinnovabili e di cogenerazione;

$Q_{el,exp}$ è l'energia elettrica esportata dal sistema (da solare fotovoltaico, cogenerazione);

$f_{p,el}$ è il fattore di conversione in energia primaria dell'energia ausiliaria elettrica.

Sia il fabbisogno di energia per riscaldamento $Q_{H,c}$, sia il fabbisogno di energia per la produzione di acqua calda sanitaria $Q_{W,c}$ comprendono al loro interno sia il fabbisogno termico utile, sia le perdite che gli eventuali recuperi delle perdite, per ogni sottosistema nel quale la norma suddivide l'impianto di riscaldamento e/o di produzione di acqua calda sanitaria, ossia:

- emissione (definito di erogazione nel caso di produzione di acqua calda sanitaria),
- regolazione (per il solo riscaldamento),

- distribuzione,
- accumulo (eventuale),
- generazione.
-

$$Q_{H/W,c} = Q_{H/W,nd} + Q_{l,e,k} + Q_{l,rg,k} + Q_{l,d,k} + Q_{l,d,s,k} - Q_{r,k} \quad (4)$$

dove

$Q_{H/W,nd}$ è il fabbisogno ideale dell'edificio;

$Q_{l,e}$ sono le perdite totali di emissione;

$Q_{l,rg}$ sono le perdite totali di regolazione;

$Q_{l,d}$ sono le perdite totali di distribuzione;

$Q_{l,d,s}$ sono le perdite totali dei serbatoi di accumulo inerziale;

$Q_{r,k}$ è l'energia termica recuperata.

Parimenti, il fabbisogno di energia primaria per il raffrescamento dell'edificio può essere ottenuto come:

$$Q_{p,C} = \left(\sum_k Q_{aux,k} + \frac{Q_{Cr,k} + Q_{v,k}}{\eta_{mm,k}} \right) f_{p,el} \quad (5)$$

dove

Q_{aux} è il fabbisogno di energia elettrica per ausiliari degli impianti di climatizzazione;

Q_{Cr} è il fabbisogno effettivo per raffrescamento;

Q_v è il fabbisogno per trattamenti dell'aria;

η_{mm} è il coefficiente di prestazione medio mensile del sistema di produzione dell'energia frigorifera;

$f_{p,el}$ è il fattore di conversione da energia elettrica ad energia primaria;

k è il mese k-esimo della stagione di climatizzazione estiva.

Il fabbisogno effettivo per il raffrescamento Q_{Cr} è quindi pari al fabbisogno ideale netto (o di energia termica utile) per il raffrescamento dell'edificio secondo la UNI/TS 11300-1, al quale si sommano le perdite totali dei vari sottosistemi impiantistici, al netto degli eventuali recuperi:

$$Q_{Cr,k} = Q_{C,nd,k} + Q_{l,e,k} + Q_{l,rg,k} + Q_{l,d,k} + Q_{l,d,s,k} - Q_{r,k} \quad (6)$$

2.1 Flow-chart per l'applicazione della UNI/TS 11300 (parti 1, 2 e 3)

Nelle tabelle seguenti si riporta il flow chart di applicazione della UNI/TS 11300.

Calcolo della trasmittanza termica - Componenti opachi			
Fase n°	Parametri e/o dati da determinare	Dati necessari e/o iter di calcolo sottesi al parametro	Fonte
I	Dati caratteristici del componente	I.I. - Stratigrafia; - spessore di ogni strato di materiale dell'elemento.	→ DA PROGETTO
		I.II. Conducibilità termica utile per ogni strato di materiale omogeneo e resistenza termica per ogni strato disomogeneo	→ UNI 10351:1994, valori di riferimento; → UNI EN ISO 10456:2001, metodo di calcolo; → UNI/TS 11300-1:2008, valori di riferimento per stratigrafie tipo (in caso di edifici esistenti per i quali non siano disponibili dati sulla stratigrafia).
		I.III. Resistenza termica delle intercapedini d'aria	→ UNI EN ISO 6946:2008, valori di riferimento e metodo di calcolo per intercapedini d'aria non ventilate/debolmente ventilate/fortemente ventilate; → UNI EN ISO 13789:2008, metodo di calcolo per intercapedini d'aria con spessore maggiore di 0,3m.
		I.IV. Resistenza termica aggiuntiva per ambienti di sottotetto	→ UNI EN ISO 6946:2008, valori di riferimento per sottotetti ventilati naturalmente; → UNI EN ISO 13789:2008, metodo di calcolo per sottotetti ventilati meccanicamente.
		I.V. Resistenza termica aggiuntiva per ambienti non riscaldati	→ UNI EN ISO 6946:2008, metodo di calcolo
II	Resistenza termica totale del componente	II.I. Dati caratteristici del componente	→ vedi I
		II.II. Resistenze termiche superficiali interna ed esterna	→ UNI EN ISO 6946:2008, valori di riferimento
		II.III. Limiti superiore ed inferiore della resistenza termica (in caso di componente costituito da strati di materiale sia omogeneo che disomogeneo)	→ UNI EN ISO 6946:2008, metodo di calcolo
III	Trasmittanza termica del componente opaco (parete corrente)	III.I. Resistenza termica totale del componente	→ vedi II
		III.II. Trasmittanza termica del componente opaco	→ UNI EN ISO 6946:2008, metodo di calcolo

Calcolo della trasmittanza termica - Componenti vetrati e porte					
Fase n°	Parametri e/o dati da determinare		Dati necessari e/o iter di calcolo sottesi al parametro	Fonte	
I	Dati caratteristici del componente		I.I. - Area e tipologia di vetro e/o pannello opaco (in caso di porta); - spessore della lastra di vetro/materiale j -esimo; - area e tipologia di telaio; - area e tipologia dell'eventuale oscuramento esterno; - lunghezza e tipologia dei ponti termici.	→ DA PROGETTO	
			I.II. Conducibilità termica del vetro/materiale dello strato j -esimo	→ DA PROGETTO; in alternativa $\lambda_j = 1 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$	
			I.III. Resistenza termica dell'intercapedine (in caso di vetri multipli)	→ UNI EN ISO 10077-1:2007, valori di riferimento	
II	Definizione della tipologia di componente vetrato		II.I. Definire se: - finestra singola; - doppia finestra; - finestre accoppiate; - finestra con persiana e/o tapparella; - porta.	→ DA PROGETTO	
III	Finestra singola	Trasmittanza termica della finestra		III.I. Dati caratteristici del componente	→ vedi I
				III.II. Resistenze termiche superficiali interna ed esterna	→ UNI EN ISO 10077-1:2007, valori di riferimento
				III.III. Trasmittanza termica del vetro	→ UNI EN ISO 10077-1:2007, metodo di calcolo e valori di riferimento in caso di vetri doppi o tripli
				III.IV. Trasmittanza termica del telaio	→ UNI EN ISO 10077-1:2007, valori di riferimento; → UNI EN ISO 10077-2:2004, metodo di calcolo; → UNI EN 12412-2:2004, metodo di calcolo per finestre su coperture.
				III.V. Trasmittanza termica lineare del distanziatore	→ UNI EN ISO 10077-1:2007, valori di riferimento
				III.VI. Trasmittanza termica della finestra singola	→ UNI EN ISO 10077-1:2007, metodo di calcolo

Calcolo della trasmittanza termica - Componenti vetrati e porte				
Fase n°	Parametri e/o dati da determinare		Dati necessari e/o iter di calcolo sottesi al parametro	Fonte
IV	Doppia finestra	Trasmittanza termica della finestra doppia	IV.I. Resistenza termica dello spazio compreso tra le due finestre interna ed esterna	→ UNI EN ISO 10077-1:2007, valori di riferimento
			IV.II. Trasmittanza termica della finestra interna	→ vedi III
			IV.III. Trasmittanza termica della finestra esterna	
			IV.IV. Trasmittanza termica della doppia finestra	→ UNI EN ISO 10077-1:2007, metodo di calcolo
V	Finestre accoppiate	Trasmittanza termica delle finestre accoppiate	V.I. Resistenza termica dello spazio compreso tra i due vetri interno ed esterno	→ UNI EN ISO 10077-1:2007, valori di riferimento
			V.II. Trasmittanza termica del vetro interno	→ vedi III.III
			V.III. Trasmittanza termica del vetro esterno	
			V.IV. Trasmittanza termica del componente vetrato	→ UNI EN ISO 10077-1:2007, metodo di calcolo
			V.V. Trasmittanza termica del telaio	→ vedi III.IV
			V.VI. Trasmittanza termica lineare del distanziatore	→ vedi III.V
			V.VII. Trasmittanza termica delle finestre accoppiate	→ UNI EN ISO 10077-1:2007, metodo di calcolo
VI	Finestra con persiana e/o tapparella	Trasmittanza termica della finestra con persiana/tapparella	VI.I. Trasmittanza termica della finestra	→ vedi III, in caso di finestra singola; → vedi IV, in caso di finestra doppia; → vedi V, in caso di finestre accoppiate.
			VI.II. Resistenza termica addizionale della persiana e/o tapparella	→ UNI EN ISO 10077-1:2007, valori di riferimento in funzione della permeabilità all'aria della persiana e/o tapparella
			VI.III. Trasmittanza termica della finestra con persiana e/o tapparella	→ UNI EN ISO 10077-1:2007, metodo di calcolo
VII	Porta	Trasmittanza termica della porta	Trasmittanza termica del vetro e o pannello opaco	→ vedi III.III
			Trasmittanza termica del telaio	→ vedi III.IV
			Trasmittanza termica lineare del distanziatore del vetro e/o del pannello opaco	→ vedi III.V
			Trasmittanza termica della porta	→ UNI EN ISO 10077-1:2007, metodo di calcolo

Calcolo della trasmittanza termica - Involucro opaco inferiore			
Fase n°	Parametri e/o dati da determinare	Dati necessari e/o iter di calcolo sottesi al parametro	Fonte
I	Dati caratteristici	<p>I.I.</p> <p><u>Solaio su terreno</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - area e perimetro del pavimento; - stratigrafia dell'elemento; - spessore di ogni strato di materiale. <p><u>Pavimento sospeso</u> (se presente)</p> <ul style="list-style-type: none"> - area e perimetro del pavimento; - stratigrafia dell'elemento; - spessore di ogni strato di materiale. <p><u>Muro perimetrale</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - stratigrafia dell'elemento; - spessore di ogni strato di materiale. <p><u>Suolo</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - costituzione del suolo. <p><u>Ulteriori dati</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - lunghezza e tipologia dei ponti termici; - area delle aperture per la ventilazione del vespaio (se presenti); - altezza della superficie di pavimento sul livello di terreno esterno (se diverso da 0). - velocità del vento a 10 m di altezza (in caso di vespaio aerato). 	→ DA PROGETTO
		I.II. Conducibilità termica utile per ogni strato di materiale omogeneo e resistenza termica per ogni strato disomogeneo	→ UNI 10351:1994, valori di riferimento; → UNI EN ISO 10456:2001, metodo di calcolo; → UNI/TS 11300-1:2008, valori di riferimento per stratigrafie tipo (in caso di edifici esistenti per i quali non siano disponibili dati sulla stratigrafia).
		I.III. Conducibilità termica del terreno	→ UNI EN ISO 13370:2008, valori di riferimento; → UNI EN ISO 10456:2008, valori di riferimento
II	Definizione della tipologia di involucro opaco inferiore	<p>II.I. Definire se:</p> <ul style="list-style-type: none"> - solaio su terreno; - pavimento sospeso; - piano interrato (o seminterrato) <ul style="list-style-type: none"> - riscaldato; - non riscaldato; - parzialmente riscaldato. 	→ DA PROGETTO

Calcolo della trasmittanza termica - Involucro opaco inferiore				
Fase n°	Parametri e/o dati da determinare		Dati necessari e/o iter di calcolo sottesi al parametro	Fonte
III	Solaio su terreno	Trasmittanza termica del solaio su terreno in assenza di isolamento perimetrale	III.I. Dimensione caratteristica del solaio su terreno	→ DA PROGETTO, area e perimetro del solaio → UNI EN ISO 13370:2008, metodo di calcolo.
			III.II Spessore equivalente del solaio su terreno	→ DA PROGETTO, spessore del muro perimetrale; → vedi I.III, per conducibilità termica del terreno; → vedi II "Componenti opachi" per resistenza termica del solaio su terreno; → UNI EN ISO 13370:2008, metodo di calcolo.
			III.III. Trasmittanza termica del solaio su terreno	→ UNI EN ISO 13370:2008, metodo di calcolo
IV (alternati va a III)	Solaio su terreno	Trasmittanza termica del solaio su terreno in presenza di isolamento perimetrale	IV.I. Trasmittanza termica lineare del solaio e/o del muro perimetrale	→ UNI EN ISO 13370:2008, metodo di calcolo
			IV.II. Trasmittanza termica del solaio su terreno in assenza di isolam. perimetrale	→ vedi III.III
V	Pavimento sospeso	Trasmittanza termica del pavimento sospeso	V.I. Trasmittanza termica del pavimento	→ vedi III "Componenti opachi", per il calcolo
			V.II. Trasmittanza termica per il flusso di calore attraverso il terreno	→ vedi I.III, per la conducibilità termica del terreno; → vedi III.I, per la dimensione caratteristica del solaio su terreno; → vedi III.II, per lo spessore equivalente del solaio su terreno; → UNI EN ISO 13370:2008, metodo di calcolo.
			V.III. Trasmittanza termica equivalente dello spazio tra il pavimento sospeso e l'esterno	→ vedi III "Componenti opachi", per il calcolo della trasmittanza termica dei muri al di sotto del pavimento, sopra il livello del terreno; → vedi III.I, per la dimensione caratteristica del solaio su terreno; → DA PROGETTO, area delle aperture per la ventilazione dello spazio al di sotto del pavimento sospeso; → UNI 10349:1994, per la velocità media del vento a 10 m di altezza; → UNI 10346:1993, per il coefficiente di protezione dal vento; → UNI EN ISO 13370:2008, metodo di calcolo.
			V.IV. Trasmittanza termica del pavimento sospeso	→ UNI EN ISO 13370:2008, metodo di calcolo

Calcolo della trasmittanza termica - Involucro opaco inferiore				
Fase n°	Parametri e/o dati da determinare		Dati necessari e/o iter di calcolo sottesi al parametro	Fonte
VI	Piano interrato (o seminterrato) riscaldato	Trasmittanza termica equivalente	VI.I. Dati caratteristici	→ vedi I, per area e perimetro del solaio su terreno, altezza della superficie di pavimento sul livello del terreno, volume del piano interrato (o seminterrato).
			VI.I. Trasmittanza termica del solaio su terreno	→ DA PROGETTO, profondità del pavimento del locale seminterrato rispetto al livello esterno del terreno; → vedi I.III, per la conducibilità termica del terreno; → vedi III.I, per la dimensione caratteristica del solaio su terreno; → vedi III.II, per lo spessore equivalente del solaio su terreno; → UNI EN ISO 13370:2008, metodo di calcolo.
			VI.II. Trasmittanza termica del muro perimetrale del piano interrato (o seminterrato)	→ DA PROGETTO, profondità del pavimento del locale seminterrato rispetto al livello esterno del terreno; → vedi I.III, per la conducibilità termica del terreno; → vedi III.II, per lo spessore equiv. del solaio su terreno; → UNI EN ISO 13370:2008, metodo di calcolo dello spessore equivalente del muro perimetrale.
			VI.III. Trasmittanza termica equivalente	→ UNI EN ISO 13370:2008, metodo di calcolo
VII	Piano interrato (o seminterrato) non riscaldato	Trasmittanza termica equivalente	VII.I. Dati caratteristici	→ vedi I, per area e perimetro del solaio su terreno, altezza della superficie di pavimento sul livello del terreno, volume del piano interrato (o seminterrato).
			VII.II. Numero di ricambi d'aria orari del piano interrato (o seminterrato)	→ DA PROGETTO; in alternativa $n = 0,3$
			VII.III. Trasmittanza termica del pavimento sospeso tra l'ambiente interno ed il piano interrato (o seminterrato) non riscaldato	→ vedi V.I
			VII.IV. Trasmittanza termica del solaio su terreno	→ vedi VI.I
			VII.V. Trasmittanza termica del muro perimetrale del piano interrato (o seminterrato)	→ vedi VI.II
			VII.VI. Trasmittanza termica del piano interrato (o seminterrato) non riscaldato	→ UNI EN ISO 13370:2008, metodo di calcolo

Calcolo della trasmittanza termica - Involucro opaco inferiore				
Fase n°	Parametri e/o dati da determinare		Dati necessari e/o iter di calcolo sottesi al parametro	Fonte
VIII	Piano interrato (o seminterrato) parzialmente riscaldato	Trasmittanza termica equivalente	VIII.I. Trasmittanza termica per piano interrato (o seminterrato) riscaldato	→ vedi VI
			VIII.II. Trasmittanza termica per piano interrato (o seminterrato) non riscaldato	→ vedi VII
			VIII.III. Trasmittanza termica del piano interrato (o seminterrato) parzialmente riscaldato	Media ponderata secondo le rispettive aree, delle trasmittanze termiche complessive del piano interrato (o seminterrato) riscaldato e non riscaldato

Fabbisogno di energia termica utile			
Fase n°	Parametri e/o dati da determinare	Dati necessari e/o iter di calcolo sottesi al parametro	Fonte
I	Definizione di confini e zone:	I.I. - Definire se zona singola o multi-zona	→ DA PROGETTO; → UNI/TS 11300-1:2008, individuazione zone termiche; → UNI EN ISO 13790:2008, calcolo in caso di multi-zona.
		I.II. - Volume lordo dell'ambiente climatizzato; - volume interno dello spazio riscaldato.	→ DA PROGETTO → UNI EN ISO 13789:2008, definizione elementi di involucro piano, porte e finestre, ponti termici; metodi per la determinazione delle dimensioni degli elementi.
II	Caratterizzazione dell'involucro	II.I. Definizione dei componenti edilizi costituenti i confini dell'edificio: Catalogazione dei componenti in schede a seconda della funzione: - chiusure verticali opache; - chiusure verticali trasparenti (superfici vetrate); - chiusure orizzontali superiori; - chiusure orizzontali inferiori; - ponti termici (se presenti).	→ raccomandazioni CTI 03/3, abaco tipo per raccolta dati
		II.II. Definizione del componente edilizio in quanto tale: Dati caratteristici del componente: - stratigrafia; - spessore di ogni strato di materiale dell'elemento;	→ DA PROGETTO
		- densità e calore specifico di ogni strato di materiale dell'elemento;	→ DA LETTERATURA/CATALOGO MATERIALI
		- conducibilità termica utile per ogni strato di materiale omogeneo e resistenza termica per ogni strato disomogeneo;	→ UNI 10351:1994, valori di riferimento; → UNI EN ISO 10456:2001, metodo di calcolo; → UNI/TS 11300-1:2008, valori di riferimento per stratigrafie tipo (in caso di edifici esistenti per i quali non siano disponibili dati sulla stratigrafia).

		- resistenza termica delle intercapedini d'aria;	→ UNI EN ISO 6946:2008, valori di riferimento e metodo di calcolo per intercapedini d'aria non ventilate/debolmente ventilate/fortemente ventilate; → UNI EN ISO 13789:2008, metodo di calcolo per intercapedini d'aria con spessore maggiore di 0,3m.
Fabbisogno di energia termica utile			
Fase n°	Parametri e/o dati da determinare	Dati necessari e/o iter di calcolo sottesi al parametro	Fonte
II	Caratterizzazione dell'involucro	- resistenza termica aggiuntiva per ambienti di sottotetto;	→ UNI EN ISO 6946:2008, valori di riferimento per sottotetti ventilati naturalmente; → UNI EN ISO 13789:2008, metodo di calcolo per sottotetti ventilati meccanicamente.
		- resistenza termica aggiuntiva per ambienti non riscaldati;	→ UNI EN ISO 6946:2008, metodo di calcolo
		- trasmittanza termica del vetro (per i componenti trasparenti);	→ UNI EN ISO 10077-1:2007, metodo di calcolo e valori di riferimento in caso di vetri doppi o tripli
		- trasmittanza termica del telaio (per i componenti trasparenti);	→ UNI EN ISO 10077-1:2007, valori di riferimento; → UNI EN ISO 10077-2:2004, metodo di calcolo; → UNI EN 12412-2:2004, metodo di calcolo per finestre su coperture.
		- trasmittanza termica lineare del distanziatore (per i componenti trasparenti);	→ UNI EN ISO 10077-1:2007, valori di riferimento
		II.III. Definizione del componente in relazione all'edificio: Definire per ogni componente: - orientamento (N,S,E,O); - ambiente confinante (interno – non riscaldato - esterno); - area frontale;	→ DA PROGETTO
		- trasmittanza termica;	→ UNI EN ISO 6946:2008, metodo di calcolo per i componenti opachi
		- capacità termica areica interna;	→ UNI EN ISO 13786:2008, metodo di calcolo; → UNI/TS 11300-1:2008, metodo di calcolo semplificato.
		- trasmittanza termica totale (per i componenti trasparenti);	→ UNI EN ISO 10077-1:2007, metodo di calcolo e valori di riferimento
		- trasmittanza di energia solare totale (per i componenti trasparenti);	→ UNI EN ISO 13790:2008, metodo di calcolo, valori di riferimento; → UNI/TS 11300-1:2008, valori di riferimento.

		- fattore di riduzione dovuto al telaio F_F (per i componenti trasparenti);	→ UNI EN ISO 10077-1:2007, metodo di calcolo; → UNI/TS 11300-1:2008, metodo di calcolo, valori di riferimento.
		- fattore di ombreggiatura relativo ad elementi esterni permanenti non direttamente adiacenti alla superficie vetrata $F_{sh,ob}$ o F_S (per i componenti trasparenti);	→ UNI EN ISO 13790:2008, UNI/TS 11300-1, metodo di calcolo
Fabbisogno di energia termica utile			
Fase n°	Parametri e/o dati da determinare	Dati necessari e/o iter di calcolo sottesi al parametro	Fonte
II	Caratterizzazione dell'involucro	- fattore di riduzione della trasmittanza di energia solare totale dei componenti trasparenti in presenza di tende o assimilabili F_C (per i componenti trasparenti);	→ UNI EN ISO 13790:2008, UNI/TS 11300-1:2008, metodo di calcolo, fattori di riduzione per alcuni tipi di tenda
		- fattore di riduzione degli apporti solari per utilizzo di schermature mobili direttamente aderenti alla superficie vetrata $F_{sh,gl}$ (per i componenti trasparenti);	→ UNI EN ISO 13790:2008, metodo di calcolo; → UNI/TS 11300-1:2008, metodo di calcolo, fattori di riduzione per schermature mobili per alcuni orientamenti..
		- tipologia del ponte termico (se presente); - lunghezza del ponte termico (se presente);	→ DA PROGETTO
		- trasmittanza termica lineare del ponte termico (se presente).	→ UNI EN ISO 14683:2008, valori di riferimento della trasmittanza termica lineare del ponte termico; → UNI EN ISO 10211:2008, metodo di calcolo della trasmittanza termica lineare.
III	Definizione della durata e dei dati climatici caratteristici del periodo di riscaldamento e dei dati relativi all'utenza	III.I. Dati climatici: - temperatura esterna media mensile; - irradianza solare totale media mensile per ciascun orientamento e sul piano orizzontale.	→ UNI 10349:1994, valori di riferimento
		III.II. Dati relativi all'utenza:	
		- durata del periodo di riscaldamento	→ UNI/TS 11300-1:2008, durata distinta per zone climatiche
		- numero di ricambi d'aria orari	
		- apporti di calore interni	
		- modalità di gestione degli schermi solari (se presenti); - modalità di gestione delle chiusure oscuranti (se presenti).	→ DA PROGETTO

Fabbisogno di energia termica utile			
Fase n°	Parametri e/o dati da determinare	Dati necessari e/o iter di calcolo sottesi al parametro	Fonte
IV	Calcolo dello scambio termico per trasmissione dell'ambiente riscaldato	IV.I. Temperatura interna di set-point per il riscaldamento	→ UNI/TS 11300-1:2008, valori di riferimento per differenti destinazioni d'uso
		IV.II. Temperatura esterna media mensile	→ vedi III.I.
		IV.III. Durata del periodo di calcolo considerato	→ vedi III.II.
		IV.IV. Fattore di forma tra il componente e la volta celeste	→ UNI/TS 11300-1:2008, valori di riferimento
		IV.V. Extra flusso termico per scambio radiativo tra il componente e la volta celeste	→ UNI/TS 11300-1:2008, metodo di calcolo
		IV.VI. Coefficiente di scambio termico diretto tra gli ambienti riscaldato – o più freddo – e l'esterno, attraverso l'involucro edilizio	→ vedi II.III. per area e trasmittanza termica del componente, per lunghezza e trasmittanza termica lineare dei ponti termici (se presenti); → UNI/TS 11300-1:2008, valori di maggiorazioni percentuali delle dispersioni termiche in presenza di ponti termici; → UNI EN ISO 13790:2008, metodo di calcolo dello scambio termico attraverso elementi speciali.
		IV.VII. Coefficiente di scambio termico verso il terreno	→ vedi I.I. "Involucro opaco inferiore", capitolo 5, per i dati caratteristici del componente orizzontale; → vedi II. "Involucro opaco inferiore", capitolo 5, per la trasmittanza termica, compreso il ponte termico (se presente); → UNI/TS 11300-1:2008, metodo di calcolo semplificato.
		IV.VIII. Coefficiente di scambio termico per trasmissione attraverso gli ambienti non climatizzati	→ UNI EN ISO 13790:2008, UNI/TS 11300-1, metodo di calcolo del coefficiente globale di scambio termico tra gli ambienti climatizzato e non, e tra l'ambiente non climatizzato e l'esterno; → UNI/TS 11300-1:2008, metodo di calcolo semplificato.

		IV.IX. Coefficiente di scambio termico per trasmissione verso altre zone (interne o esterne all'edificio) climatizzate a temperatura differente	→ vedi IV.VI; → UNI EN ISO 13790:2008, UNI/TS 11300-1, metodo di calcolo della temperatura della zona climatizzata a differente temperatura.
		IV.X. Coefficiente globale di scambio termico per trasmissione	→ UNI EN ISO 13789:2008, metodo di calcolo

Fabbisogno di energia termica utile			
Fase n°	Parametri e/o dati da determinare	Dati necessari e/o iter di calcolo sottesi al parametro	Fonte
V	Calcolo dello scambio termico per ventilazione dell'ambiente riscaldato	V.I. Temperatura interna di set-point per il riscaldamento	→ vedi IV.I.
		V.II. Temperatura esterna media mensile	→ vedi IV.II.
		V.III. Durata del periodo di calcolo considerato	→ vedi IV.III.
		V.IV. Coefficiente globale di scambio termico per ventilazione, corretto per tenere conto della differenza di temperatura tra l'aria di mandata e l'aria esterna	→ capacità termica volumica dell'aria, pari a 1200 J/(m ³ K) oppure 0,34 Wh/(m ³ K); → UNI/TS 11300-1:2008, valori del fattore di correzione della temperatura di mandata dell'aria (se diversa da quella esterna); → UNI EN ISO 13790:2008, elenco delle norme per la determinazione della portata del flusso d'aria; → UNI EN 13465:2004, metodo di calcolo del flusso d'aria per edifici residenziali in caso di ventilazione naturale od artificiale; → UNI/TS 11300-1:2008, valori di riferimento e dati convenzionali d'utenza in caso di ventilazione naturale, metodo di calcolo in caso di ventilazione artificiale; → UNI EN ISO 13789:2008, metodo di calcolo del flusso d'aria in caso di ventilazione naturale od artificiale.
VI	Calcolo dello scambio termico totale	VI.I. Scambio termico per trasmissione	→ vedi IV. e V.
		VI.II. Scambio termico per ventilazione	→ UNI EN ISO 13790:2008, metodo di calcolo dello scambio termico totale.
VII	Calcolo degli apporti di calore gratuiti interni	VII.I. Flusso termico prodotto dalla sorgente di calore interna, mediato sul tempo	→ UNI/TS 11300-1:2008, valori di riferimento in funzione della destinazione d'uso
		VII.II. Durata del periodo di calcolo considerato	→ vedi IV.III.

		VII.III. Fattore di riduzione per l'ambiente non climatizzato avente al suo interno una sorgente di calore	→ UNI EN ISO 13789:2008, metodo di calcolo
		VII.IV. Flusso termico prodotto dalla sorgente di calore esterna, mediato sul tempo	→ vedi VII.I.

Fabbisogno di energia termica utile			
Fase n°	Parametri e/o dati da determinare	Dati necessari e/o iter di calcolo sottesi al parametro	Fonte
VIII	Calcolo dei guadagni solari	VIII.I. Area di captazione solare effettiva per componenti opachi	→ UNI/TS 11300-1:2008, valori di riferimento del fattore di assorbimento solare della superficie esterna della parete opaca; → UNI EN ISO 6946:2008, valori di riferimento della resistenza termica superficiale esterna; → vedi II.III. per area e trasmittanza termica del componente opaco → UNI EN ISO 13790:2008, metodo di calcolo.
		VIII.II. Area di captazione solare effettiva per componenti trasparenti	→ vedi II.III. per trasmittanza di energia solare totale, fattore di riduzione degli apporti solari per utilizzo di schermature mobili direttamente aderenti alla superficie vetrata $F_{sh,gl}$, fattore di riduzione dovuto al telaio F_F , fattore di riduzione della trasmittanza di energia solare totale dei componenti trasparenti in presenza di tende o assimilabili F_C ; → UNI EN ISO 13790:2008, metodo di calcolo.

		VIII.III. Flusso termico di origine solare, mediato sul tempo	<p>→ vedi VIII.I. per l'area di captazione solare effettiva per componenti opachi;</p> <p>→ vedi VIII.II. per l'area di captazione solare effettiva per componenti trasparenti;</p> <p>→ vedi II.III. per il fattore di riduzione per ombreggiatura relativo ad elementi esterni permanenti non direttamente adiacenti alla superficie vetrata $F_{sh,ob}$ o F_S;</p> <p>→ vedi III.I. per l'irradianza solare media mensile sulla superficie del componente considerato.</p>
		VIII.IV. Flusso termico di origine solare nell'ambiente non climatizzato adiacente alla zona considerata (se presente), mediato sul tempo	→ vedi VIII.III.
		VIII.V. Durata del periodo di calcolo considerato	→ vedi IV.III.
		VIII.VI. Guadagni solari totali	→ UNI/TS 11300-1:2008, metodo di calcolo

Fabbisogno di energia termica utile			
Fase n°	Parametri e/o dati da determinare	Dati necessari e/o iter di calcolo sottesi al parametro	Fonte
IX	Calcolo del fattore di utilizzazione degli apporti termici	IX.I. Scambio termico totale	→ vedi VI.
		IX.II. Apporti di calore gratuiti interni	→ vedi VII.
		IX.III. Guadagni solari	→ vedi VIII.
		IX.IV. Costante di tempo	<p>→ vedi IV.X. per il coefficiente globale di scambio termico per trasmissione;</p> <p>→ vedi V.IV. per il coefficiente globale di scambio termico per ventilazione;</p> <p>→ UNI EN ISO 13790:2008, metodo di calcolo della capacità termica interna dell'edificio;</p> <p>→ UNI/TS 11300-1:2008, valori di capacità termica interna dell'edificio.</p>
		IX.V. Fattore di utilizzazione degli apporti termici	→ UNI EN ISO 13790:2008, UNI/TS 11300-1:2008, metodo di calcolo
X	Calcolo del fabbisogno netto	X.I. Scambio termico totale	→ vedi VI.

	di energia termica	X.II. Apporti termici totali	→ vedi VII per gli apporti di calore gratuiti interni; → vedi VIII per i guadagni solari.
		X.III. Fattore di utilizzazione degli apporti termici	→ vedi IX.
		X.IV. Fabbisogno netto di energia termica	→ UNI EN ISO 13790:2008, metodo di calcolo

Fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione invernale			
Fase n°	Parametri e/o dati da determinare	Dati necessari e/o iter di calcolo sottesi al parametro	Fonte
I	Definizione delle caratteristiche dell'ambiente riscaldato	I.I. Area, stratigrafia e trasmittanza termica dei componenti di involucro a ridosso dei corpi scaldanti	→ vedi II.II. e II.III. " Fabbisogno netto di energia termica per la climatizzazione invernale"
		I.II. Lunghezza, larghezza ed area di pavimento	→ DA PROGETTO
		I.III. Numero ed altezza dei piani	
		I.IV. Temperatura interna di set-point per il riscaldamento	→ vedi IV.I. " Fabbisogno netto di energia termica per la climatizzazione invernale"
		I.V. Temperatura esterna media mensile	→ vedi III.I. " Fabbisogno netto di energia termica per la climatizzazione invernale"
II	Definizione delle caratteristiche del sottosistema	II.I. - Tipologia di terminali in ambiente; - tipologia di sistema di regolazione della temperatura in ambiente.	→ DA PROGETTO
		II.II. Potenza elettrica installata per gli ausiliari elettrici (se presenti)	→ UNI/TS 11300-2:2008, valori di riferimento
III	Calcolo dell'energia termica dispersa: metodo della temperatura interna equivalente incrementata	III.I. Temperatura interna di set-point per il riscaldamento	→ vedi I.IV.
		III.II. Temperatura esterna media mensile	→ vedi I.V.
		III.III. Temperatura equivalente interna incrementata	→ vedi I.IV. per la temperatura interna di set-point per il riscaldamento; → UNI EN 15316-2-1:2008, metodo di calcolo della variazione della temperatura interna per stratificazione e per regolazione.
		III.IV. Fabbisogno netto di energia termica	→ vedi X. " Fabbisogno netto di energia termica per la climatizzazione invernale"
IV (alternativa a III)	Calcolo dell'energia termica dispersa: metodo delle efficienze secondo UNI EN 15316	IV.I. Efficienza parziale riferita alla stratificazione η_{str}	→ UNI EN 15316-2-1:2008, valori di riferimento
		IV.II. Efficienza parziale riferita alla regolazione η_{ctr}	
		IV.III. Efficienza parziale riferita alle dispersioni specifiche dei componenti verso l'esterno η_{emb}	
		IV.IV. Fabbisogno netto di energia termica	→ vedi X. " Calcolo del fabbisogno di energia termica utile "

Fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione invernale				
Fase n°	Parametri e/o dati da determinare	Dati necessari e/o iter di calcolo sottesi al parametro	Fonte	
V (alternativa a IV)	Emissione e controllo	Calcolo dell'energia termica dispersa: metodo delle efficienze secondo UNI/TS 11300-2:2008	V.I. Rendimento di emissione	→ UNI/TS 11300-2:2008, valori di riferimento
			V.II. Rendimento di controllo	→ UNI/TS 11300-2:2008, valori di riferimento
			V.III. Fabbisogno netto di energia termica	→ vedi X. " Fabbisogno netto di energia termica per la climatizzazione invernale"
			V.IV. Dispersioni di emissione e controllo	→ UNI/TS 11300-2:2008, metodo di calcolo
VI	Emissione e controllo	Calcolo del fabbisogno di energia ausiliaria	VI.I. Potenza elettrica installata per gli ausiliari elettrici (se presenti)	→ vedi II.II.
			VI.II. Durata di utilizzo degli ausiliari elettrici	→ DA PROGETTO
VII	Emissione e controllo	Calcolo dell'energia termica recuperata	VII.I. Porzione di energia ausiliaria recuperata k	→ UNI/TS 11300-2:2008, $k = 1$
VIII	Emissione e controllo	Calcolo dell'energia in ingresso	VIII.I. Fabbisogno netto di energia termica	→ vedi X. " Fabbisogno netto di energia termica per la climatizzazione invernale"
			VIII.II. Energia termica dispersa	→ vedi III. o IV. o V.
			VIII.III. Fabbisogno di energia ausiliaria	→ vedi VI.
			VIII.IV. Energia termica recuperata	→ vedi VII.
IX	Distribuzione	Definizione delle caratteristiche del sottosistema	IX.I. - Tipologia di regolazione delle pompe di circolazione; - tipologia di tubazione: diametro, materiale, coibentazione, lunghezza, dislocazione (ambiente riscaldato/non riscaldato), trasmittanza termica lineare; - tipologia di sistema di distribuzione (singolo/doppio condotto); - lunghezza	→ DA PROGETTO; → UNI EN ISO 15316-2-3:2008, UNI/TS 11300-2:2008, metodo di calcolo e valori di riferimento della trasmittanza termica lineare delle tubazioni.
			IX.II. Temperatura media, massa e calore specifico del fluido termovettore	→ UNI/TS 11300-2:2008, valori di riferimento
			IX.III. Temperatura dell'ambiente circostante le tubazioni di distribuzione	
			IX.IV. Potenza idraulica di progetto	→ DA PROGETTO, portata prevalenza e massa volumica del fluido termovettore; → UNI/TS 11300-2:2008, metodo di calcolo.

Fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione invernale				
Fase n°	Parametri e/o dati da determinare		Dati necessari e/o iter di calcolo sottesi al parametro	Fonte
X		Calcolo dell'energia termica dispersa	X.I. Lunghezza di tubazione posta rispettivamente in ambiente riscaldato e non riscaldato	→ vedi IX.I.
			X.II. (alternativa a X.I.) Lunghezza massima della tubazione	→ vedi I.II. per lunghezza e larghezza, numero di piani ed altezza dell'ambiente
			X.II. Temperatura media del fluido termovettore	→ vedi IX.II.
			X.III. Temperatura dell'ambiente circostante le tubazioni di distribuzione	→ vedi IX.III.
			X.IV. Ore effettive di riscaldamento nel periodo di calcolo considerato	→ UNI/TS 11300-2:2008, per definizioni
XI	Distribuzione	Calcolo del fabbisogno di energia ausiliaria secondo UNI EN ISO 15316-2-3:2008	XI.I. Fabbisogno di energia idraulica $W_{dis,hydr}$	→ UNI EN ISO 15316-2-3:2008, metodo di calcolo e valori di riferimento delle variabili richieste (fattori di correzione, perdite di pressione); → vedi X. per il carico termico di progetto della zona considerata.
			XI.II. Fattore di spesa energetica per il funzionamento della pompa di circolazione e_{dis}	→ UNI EN ISO 15316-2-3:2008, metodo di calcolo e valori di riferimento delle variabili richieste
XII (alternativa a XI)		Calcolo del fabbisogno di energia ausiliaria secondo UNI/TS 11300-2:2008	XII.I. Potenza elettrica dell'elettropompa	→ vedi IX.IV. per la potenza idraulica di progetto; → UNI/TS 11300-2:2008, valori di riferimento per l'efficienza della elettropompa
			XII.II. Tempo convenzionale di attivazione dell'elettropompa	→ vedi X. per il fabbisogno netto di energia termica; → vedi VIII. per l'energia in ingresso al sottosistema di emissione; → vedi X.IV. per la durata effettiva del periodo di riscaldamento; → UNI/TS 11300-2:2008, metodo di calcolo.

Fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione invernale				
Fase n°	Parametri e/o dati da determinare		Dati necessari e/o iter di calcolo sottesi al parametro	Fonte
XIII	Distribuzione	Calcolo dell'energia termica recuperata	XIII.I. Recupero di energia termica	→ vedi X. e valutare del X.I. solo le tubazioni poste in ambiente riscaldato (energia termica dispersa recuperabile)
			XIII.II. Recupero di energia ausiliaria	→ vedi XI. o XII. per il fabbisogno di energia ausiliaria; → UNI EN ISO 15316-2-3:2008, valori di riferimento per il fattore di recupero dell'energia ausiliaria.
Calcolo del rendimento		XIV.I. Metodo di calcolo	→ UNI EN 15316-1:2008, UNI/TS 11300-1:2008 metodo di calcolo generale; → UNI 10347:1993, metodo di calcolo per generatori posti all'esterno dell'edificio; → UNI 10348:1993, valori di riferimento per generatori posti all'interno dell'edificio.	
		XIV.II. (alternativa a XIV.I.) Valori di riferimento	→ UNI 10348:1993, valori di riferimento per generatori posti all'interno dell'edificio; → UNI/TS 11300-2:2008, valori di riferimento per edifici esistenti.	
XV		Calcolo dell'energia in ingresso: metodo semplificato secondo UNI EN ISO 15316-2-3:2008 e UNI/TS 11300-2:2008	XV.I. Energia termica in ingresso al sottosistema di emissione	→ vedi VIII.
			XV.II. Energia termica dispersa	→ vedi X.
	XV.III. Energia termica recuperata		→ vedi XIII.	
XVI	Accumulo	Calcolo dell'energia in ingresso	XVI.I. - Energia termica in uscita; - energia termica dispersa; - energia termica recuperata.	→ UNI EN 15316-3, UNI/TS 11300-2:2008, metodo di calcolo

Fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione invernale				
Fase n°	Parametri e/o dati da determinare		Dati necessari e/o iter di calcolo sottesi al parametro	Fonte
XVII	Generazione (caldaie a combustione)	Definizione delle caratteristiche del sottosistema	XVII.I. Tipologia, potenza utile a carico nominale ϕ_{Pn} e potenza al focolare ϕ_{Cn} del generatore di calore	→ DA PROGETTO
			XVII.II. Temperatura del vano caldaia $\theta_{a,g}$	→ UNI/TS 11300-2:2008, valori di riferimento
			XVII.III. Temperatura media del fluido termovettore nel generatore $\theta_{g,w,avg}$	→ UNI/TS 11300-2:2008, valore calcolato come media aritmetica tra l'acqua in ingresso e l'acqua in uscita al generatore
			XVII.IV. Temperatura media del fluido termovettore nel generatore in condizioni di riferimento $\theta_{g,w,test}$	→ UNI/TS 11300-2:2008, valori di riferimento
			XVII.V. - potenza del bruciatore ϕ_{br} ; - potenza della pompa di circolazione principale ϕ_{af} .	→ UNI EN ISO 15316-4-1:2008, UNI/TS 11300-2:2008 valori di riferimento
			XVII.VI. Dati aggiuntivi (in caso di generatori multistadio o modulanti): - potenza a carico parziale ϕ_{Pint} e specifico ϕ_{Px} del generatore di calore; - potenza minima al focolare del generatore di calore; - perdite al camino con bruciatore acceso in condizioni di potenza minima del generatore di calore; - potenza degli ausiliari elettrici in condizioni di potenza minima del generatore di calore.	→ DA PROGETTO

			<p>XVII.VII. Dati aggiuntivi (in caso di caldaia a condensazione):</p> <ul style="list-style-type: none"> - tipologia di combustibile utilizzato; - ossigeno contenuto nel flusso di gas in condizioni di potenza al focolare minima, specifica e massima; - differenze di temperatura tra l'acqua di ritorno al generatore ed il flusso di gas, in condizioni di potenza al focolare minima, specifica e massima. 	
--	--	--	---	--

Fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione invernale				
Fase n°	Parametri e/o dati da determinare		Dati necessari e/o iter di calcolo sottesi al parametro	Fonte
XVIII	Generazione (caldaie a combustione)	Calcolo dell'energia termica dispersa: metodo analitico secondo UNI EN ISO 15316-4-1:2008 e UNI/TS 11300-2:2008	XVIII.I. Dispersioni termiche specifiche attraverso il camino con bruciatore acceso $P_{ch,on}$	→ UNI/TS 11300-2:2008, valori di riferimento delle dispersioni termiche attraverso il camino con bruciatore acceso ed in condizioni di riferimento $P'_{ch,on}$; → vedi XVII.III. per la temperatura media del fluido termovettore nel generatore $\theta_{g,w,avg}$; → vedi XVII.IV. per la temperatura media del fluido termovettore nel generatore in condizioni di riferimento $\theta_{g,w,test}$; → UNI EN ISO 15316-4-1:2008, UNI/TS 11300-2:2008, metodo di calcolo.
			XVIII.II. Dispersioni termiche attraverso il camino con bruciatore acceso $Q_{ch,on}$	→ vedi XVIII.I. per le dispersioni termiche specifiche attraverso il camino con bruciatore acceso $P_{ch,on}$; → vedi XVII.I. per la potenza al focolare del generatore di calore ϕ_{cn} ; → UNI/TS 11300-2:2008, per definizione del tempo con fiamma del bruciatore accesa; → UNI EN ISO 15316-4-1:2008, UNI/TS 11300-2:2008, metodo di calcolo.

			<p>XVIII.III. Dispersioni termiche specifiche attraverso il camino con bruciatore spento $P_{ch,off}$</p>	<p>→ UNI/TS 11300-2:2008, valori di riferimento delle dispersioni termiche attraverso il camino con bruciatore spento ed in condizioni di riferimento $P'_{ch,off}$;</p> <p>→ vedi XVII.II. per la temperatura del vano caldaia $\theta_{a,g}$;</p> <p>→ vedi XVII.III. per la temperatura media del fluido termovettore nel generatore $\theta_{g,w,avg}$;</p> <p>→ vedi XVII.IV. per la temperatura media del fluido termovettore nel generatore in condizioni di riferimento $\theta_{g,w,test}$;</p> <p>→ UNI/TS 11300-2:2008, valori di riferimento della temperatura del vano caldaia in condizioni di riferimento $\theta_{a,test}$;</p> <p>→ UNI EN ISO 15316-4-1:2008, UNI/TS 11300-2:2008, metodo di calcolo.</p>
--	--	--	--	--

Fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione invernale				
Fase n°	Parametri e/o dati da determinare		Dati necessari e/o iter di calcolo sottesi al parametro	Fonte
XVIII	Generazione (caldaie a combustione)	<p>Calcolo dell'energia termica dispersa: metodo analitico secondo UNI EN ISO 15316-4-1:2008 e UNI/TS 11300-2:2008</p>	<p>XVIII.IV. Dispersioni termiche attraverso il camino con bruciatore spento $Q_{ch,off}$</p>	<p>→ vedi XVIII.III. per le dispersioni termiche specifiche attraverso il camino con bruciatore spento $P_{ch,off}$;</p> <p>→ vedi XVII.I. per la potenza al focolare del generatore di calore ϕ_{cn};</p> <p>→ UNI/TS 11300-2:2008, per definizione del tempo con fiamma del bruciatore spenta;</p> <p>→ UNI EN ISO 15316-4-1:2008, UNI/TS 11300-2:2008, metodo di calcolo.</p>

			XVIII.V. Dispersioni termiche specifiche attraverso il mantello del generatore $P_{gn,env}$	<p>→ UNI/TS 11300-2:2008, valori di riferimento delle dispersioni termiche attraverso il mantello del generatore in condizioni di riferimento $P'_{gn,env}$, e del fattore di riduzione delle perdite $k_{gn,env}$ in relazione all'ubicazione del generatore;</p> <p>→ vedi XVII.II. per la temperatura del vano caldaia $\theta_{a,g}$;</p> <p>→ vedi XVII.III. per la temperatura media del fluido termovettore nel generatore $\theta_{g,w,avg}$;</p> <p>→ vedi XVII.IV. per la temperatura media del fluido termovettore nel generatore in condizioni di riferimento $\theta_{g,w,testi}$;</p> <p>→ UNI/TS 11300-2:2008, valori di riferimento della temperatura del vano caldaia in condizioni di riferimento $\theta_{a,testi}$;</p> <p>→ UNI EN ISO 15316-4-1:2008, UNI/TS 11300-2:2008, metodo di calcolo.</p>
			XVIII.VI. Dispersioni termiche attraverso il mantello del generatore $Q_{gn,env}$	<p>→ vedi XVIII.V. per le dispersioni termiche specifiche attraverso il mantello del generatore $P_{gn,env}$;</p> <p>→ vedi XVII.I. per la potenza al focolare del generatore di calore ϕ_{Cn};</p> <p>→ UNI/TS 11300-2:2008, per definizione del tempo con fiamma del bruciatore accesa e spenta;</p> <p>→ UNI EN ISO 15316-4-1:2008, UNI/TS 11300-2:2008, metodo di calcolo.</p>
XIX		Calcolo del fabbisogno di energia ausiliaria: metodo analitico secondo UNI EN ISO 15316-4-1:2008 e UNI/TS 11300-2:2008	XIX.I. Potenza del bruciatore ϕ_{br}	→ vedi XVII.V.
			XIX.II. Tempo di attivazione del bruciatore	→ UNI/TS 11300-2:2008, per definizioni
			XIX.III. Potenza della pompa di circolazione principale ϕ_{at}	→ vedi XVII.V.
			XIX.IV. Tempo di attivazione della pompa di circolazione principale	→ UNI/TS 11300-2:2008, per definizioni

Fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione invernale				
Fase n°	Parametri e/o dati da determinare		Dati necessari e/o iter di calcolo sottesi al parametro	Fonte
XX	zione (caldaie a combustione)	Calcolo dell'energia termica recuperata: metodo analitico secondo UNI EN ISO 15316-4-1:2008	XX.I. Energia ausiliaria recuperata a monte del generatore Q_{br}	<p>→ vedi XVII.V. per la potenza del bruciatore ϕ_{br};</p> <p>→ vedi XIX.II. per il tempo di attivazione del bruciatore;</p> <p>→ UNI EN ISO 15316-4-1:2008, UNI/TS 11300-2:2008 valori di riferimento della frazione di energia ausiliaria recuperabile.</p>

		e UNI/TS 11300-2:2008	XX.II. Energia ausiliaria recuperata a valle del generatore Q_{af}	→ vedi XVII.V. per la potenza della pompa di circolazione principale; → vedi XIX.IV. per il tempo di attivazione della pompa di circolazione principale; → UNI EN ISO 15316-4-1:2008, UNI/TS 11300-2:2008 valori di riferimento della frazione di energia ausiliaria recuperabile.
XXI		Calcolo dell'energia in ingresso: metodo analitico secondo UNI EN ISO 15316-4-1:2008 e UNI/TS 11300-2:2008	XXI.I. Potenza al focolare del generatore di calore ϕ_{cn}	→ vedi XVII.I.
			XXI.II. Tempo di funzionamento dell'impianto di riscaldamento	→ UNI/TS 11300-2:2008, per definizioni
			XXI.III. Fattore di carico	→ vedi XV. per l'energia entrante nel sottosistema di distribuzione; → vedi XVII.I. per la potenza al focolare del generatore di calore ϕ_{cn} ; → vedi XVIII.I. per le dispersioni termiche specifiche attraverso il camino con bruciatore acceso $P_{ch,on}$; → vedi XVIII.III. per le dispersioni termiche specifiche attraverso il camino con bruciatore spento $P_{ch,off}$; → vedi XVIII.V. per le dispersioni termiche specifiche attraverso il mantello del generatore $P_{gn,env}$; → vedi XIX.I. per la potenza del bruciatore ϕ_{br} ; → vedi XX.II. per l'energia ausiliaria recuperata a valle del generatore Q_{af} ; → vedi XXI.II. per il tempo di funzionamento dell'impianto di riscaldamento; → UNI EN ISO 15316-4-1:2008, UNI/TS 11300-2:2008, metodo di calcolo.

Fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione invernale			
Fase n°	Parametri e/o dati da determinare	Dati necessari e/o iter di calcolo sottesi al parametro	Fonte

XXII (alternativa a XVIII - XXI)	Generazione (caldaie a combustione)	Metodo per generatori conformi alla direttiva 94/42/CE secondo UNI EN ISO 15316-4-1:2008 (corrispondente al metodo semplificato) e UNI/TS 11300-2:2008	XXII.I. Calcolo del rendimento a carico nominale corretto $\eta_{gn,Pn,cor}$	→ direttiva 94/42/CE, per la determinazione del rendimento a carico nominale $\eta_{gn,Pn}$; → UNI/TS 11300-2:2008, per i valori del fattore di correzione $f_{cor,Pn}$ e della temperatura media del generatore in condizioni di prova $\theta_{gn,test,Pn}$; → vedi XVII.III. per la temperatura media del fluido termovettore nel generatore $\theta_{g,w,avg}$.
			XXII.II. Calcolo del rendimento a carico parziale corretto $\eta_{gn,Pint,cor}$	→ direttiva 94/42/CE, per la determinazione del rendimento a carico parziale $\eta_{gn,Pint}$; → UNI/TS 11300-2:2008, per i valori del fattore di correzione $f_{cor,Pint}$ e della temperatura media del generatore in condizioni di prova $\theta_{gn,test,Pint}$; → vedi XVII.III. per la temperatura media del fluido termovettore nel generatore $\theta_{g,w,avg}$.
			XXII.III. Calcolo delle perdite a carico nullo corrette $\phi_{gn,I,P0,cor}$	→ UNI/TS 11300-2:2008, per la determinazione delle perdite a carico nullo in condizioni di riferimento $\phi_{gn,I,P0}$; → vedi XVII.II. per la temperatura del vano caldaia $\theta_{a,g}$; → vedi XVII.III. per la temperatura media del fluido termovettore nel generatore $\theta_{g,w,avg}$; → vedi XVII.IV. per la temperatura media del fluido termovettore nel generatore in condizioni di riferimento $\theta_{g,w,test}$; → UNI/TS 11300-2:2008, valori di riferimento della temperatura del vano caldaia in condizioni di riferimento $\theta_{a,test}$.
			XXII.IV. Calcolo delle perdite a carico parziale corrette $\phi_{gn,I,Pint,cor}$	→ vedi XVII.VI. per la potenza utile a carico parziale ϕ_{Pint} del generatore di calore; → vedi XXII.II. per il calcolo del rendimento a carico parziale corretto $\eta_{gn,Pint,cor}$.
			XXII.V. Calcolo delle perdite a carico nominale corrette $\phi_{gn,I,Pn,cor}$	→ vedi XVII.I. per la potenza utile nominale ϕ_{Pn} del generatore di calore; → vedi XXII.I. per il calcolo del rendimento a carico nominale corretto $\eta_{gn,Pn,cor}$.

Fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione invernale			
Fase n°	Parametri e/o dati da determinare	Dati necessari e/o iter di calcolo sottesi al parametro	Fonte

XXII (alternativa a XVIII - XXI)	Generazione (caldaie a combustione)	Metodo per generatori conformi alla direttiva 94/42/CE secondo UNI EN ISO 15316-4-1:2008 (corrispondente al metodo semplificato) e UNI/TS 11300-2:2008	XXII.VI. Calcolo delle perdite a carico specifico corrette $\phi_{gn,I,Px,cor}$	→ vedi XVII.I. e XVII.VI. per la potenza utile a carico nominale ϕ_{Pn} , parziale ϕ_{Pint} e specifico ϕ_{Px} , del generatore di calore; → vedi XXII.III per le perdite a carico nullo corrette $\phi_{gn,I,P0,cor}$; → vedi XXII.IV. per le perdite a carico parziale corrette $\phi_{gn,I,Pint,cor}$; → vedi XXII.V. per le perdite a carico nominale corrette $\phi_{gn,I,Pn,cor}$.
			XXII.V. Calcolo dell'energia termica dispersa	→ vedi XIX.II. per il tempo di funzionamento del generatore; → vedi XXII.VI. per le perdite a carico specifico corrette $\phi_{gn,I,Px,cor}$.
			XXII.V. Calcolo del fabbisogno di energia ausiliaria	→ UNI/TS 11300-2:2008, metodo di calcolo della potenza degli ausiliari del generatore alla potenza effettiva di utilizzo; → vedi XIX.II. per il tempo di funzionamento del generatore.
			XXII.VI. Calcolo dell'energia recuperata	→ vedi XIX.II. per il tempo di funzionamento del generatore; → vedi XXII.III per le perdite a carico nullo corrette $\phi_{gn,I,P0,cor}$; → UNI/TS 11300-2:2008, metodo e valori di riferimento delle variabili per il calcolo dell'energia recuperabile agli ausiliari $Q_{aux,gn,rl}$ ed al mantello $Q_{gn,env,rl}$.
			XXII.VI. Calcolo dell'energia in ingresso	→ vedi XV. per l'energia in ingresso al sottosistema di distribuzione; → vedi XXII.V. per l'energia termica dispersa; → vedi XXII.VI. per l'energia recuperata; → UNI EN ISO 15316-4-1:2008, UNI/TS 11300-2:2008, metodo di calcolo.
XXIII	Calcolo del rendimento	XXIII.I. Metodo di calcolo	→ UNI EN 15316-1:2008, metodo di calcolo generale; → UNI 10348:1993, UNI/TS 11300-2:2008 metodi di calcolo analitico e basato sulla direttiva 94/42/CE.	
		XXIII.II. (alternativa a XXIII.I.) Valori di riferimento	→ UNI/TS 11300-2:2008, valori di riferimento per i casi più comuni di generatore di calore	

Fabbisogno di energia primaria per la produzione di ACS				
Fase n°	Parametri e/o dati da determinare		Dati necessari e/o iter di calcolo sottesi al parametro	Fonte
I	Fabbisogno di energia termica per ACS		I.I. Volume d'acqua richiesta durante il periodo di calcolo V_w	→ UNI/TS 11300-2:2008, valori di riferimento
			I.II. Numero dei giorni del periodo di calcolo G	→ UNI/TS 11300-1:2008, valori di riferimento
II	Erogazione	Calcolo dell'energia in ingresso al sottosistema	II.I. Rendimento del sottosistema	→ UNI/TS 11300-2:2008, valori di riferimento
			II.II. Calcolo delle perdite	→ UNI/TS 11300-2:2008, metodo di calcolo
III	Distribuzione	Calcolo dell'energia in ingresso al sottosistema (in presenza di ricircolo)	III.I. Calcolo delle perdite	→ UNI/TS 11300-2:2008, metodo di calcolo in appendice A
		Calcolo dell'energia in ingresso al sottosistema	III.I. Calcolo del coefficiente di perdita	→ UNI/TS 11300-2:2008, valori di riferimento
			III.II. Calcolo delle perdite	→ UNI/TS 11300-2:2008, metodo di calcolo
			III.III. Calcolo del coefficiente di recupero	→ UNI/TS 11300-2:2008, valori di riferimento
III.IV. Calcolo delle perdite recuperate	→ UNI/TS 11300-2:2008, metodo di calcolo			
IV	Accumulo	Calcolo dell'energia in ingresso al sottosistema	IV.I. Calcolo delle perdite	→ superficie esterna del serbatoio, DA PROGETTO → spessore e conducibilità termica dello strato isolante, DA PROGETTO → durata del periodo considerato, da UNI/TS 11300-1:2008 → temperatura media dell'accumulo, DA PROGETTO → temperatura ambiente del locale di installazione dell'accumulo, DA PROGETTO
			IV.I. Calcolo delle perdite (in caso di valore di dispersione termica dell'apparecchio dichiarata dal costruttore)	→ durata del periodo considerato, da UNI/TS 11300-1:2008 → temperatura media dell'accumulo, DA PROGETTO → temperatura ambiente del locale di installazione dell'accumulo, DA PROGETTO

		IV.II Calcolo delle perdite recuperate	→ coefficiente di recupero, da UNI/TS 11300-1:2008
--	--	--	--

Fabbisogno di energia primaria per la produzione di ACS				
Fase n°	Parametri e/o dati da determinare		Dati necessari e/o iter di calcolo sottesi al parametro	Fonte
IV	Accumulo	Calcolo dell'energia in ingresso al sottosistema	IV.III Calcolo delle perdite del circuito primario	→ distanza tra serbatoio e generatore ≤5 m e tubazioni di collegamento isolate: perdite trascurabili → distanza tra serbatoio e generatore ≤5 m e tubazioni di collegamento non isolate: perdite calcolate secondo UNI/TS 11300-1:2008, appendice A utilizzando appropriate temperature dell'acqua nel circuito primario - Distanza tra serbatoio e generatore >5 m: perdite calcolate secondo UNI/TS 11300-1:2008, appendice A
			IV.IV Calcolo delle perdite recuperate del circuito primario	→ vedi IV.II
V	Generazione	Calcolo dell'energia in ingresso al sottosistema (produzione ACS separata da riscaldamento)	Impianto centralizzato di produzione di ACS a servizio di più unità immobiliari di un edificio	→ vedi XXIII "Fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione invernale" per il calcolo del rendimento di generazione
			Impianto autonomo di produzione per singola unità immobiliare	→ UNI/TS 11300-2:2008, valori di riferimento o DA PROGETTO, del rendimento di generazione
		Calcolo dell'energia in ingresso al sottosistema (impianto misto)	Calcolo durante il periodo di riscaldamento	→ i fabbisogni per acqua calda sanitaria si sommano ai fabbisogni di riscaldamento
			Calcolo durante il periodo di sola produzione di ACS	→ UNI/TS 11300-2:2008, metodo di calcolo del fattore di carico in funzione del solo fabbisogno di ACS → vedi XXI.III "Fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione invernale" per il calcolo del fattore di carico

Fabbisogno di energia primaria per il raffrescamento				
Fase n°	Parametri e/o dati da determinare		Dati necessari e/o iter di calcolo sottesi al parametro	Fonte
I	Fabbisogno di energia termica per raffrescamento		I.I. Fabbisogno ideale dell'edificio $Q_{C,nd}$	→ UNI/TS 11300-1:2008, metodo di calcolo → vedi "Fabbisogno di energia termica utile"
II	Emissione	Calcolo dell'energia in ingresso al sottosistema	II.I. Rendimento del sottosistema	→ UNI/TS 11300-3:2010, valori di riferimento
			II.II Calcolo delle perdite	→ UNI/TS 11300-3:2010, metodo di calcolo
III	Regolazione	Calcolo dell'energia in ingresso al sottosistema	III.I. Rendimento del sottosistema	→ UNI/TS 11300-1:2010, valori di riferimento
			III.II Calcolo delle perdite	→ UNI/TS 11300-3:2010, metodo di calcolo
IV	Distribuzione	Calcolo delle perdite nelle canalizzazioni di aria trattata $Q_{l,da}$	IV.I Calcolo delle perdite di energia termica per trasmissione del calore $Q_{l,da,tr}$	→ trasmittanza lineare dei canali, DA PROGETTO → temperatura del locale non riscaldato o del clima esterno, DA PROGETTO → lunghezza dei canali di distribuzione dell'aria, DA PROGETTO → numero di ore del mese, da UNI/TS 11300-1:2008 → UNI EN 15242, metodo di calcolo
			IV.II Calcolo delle perdite di energia termica dovute a perdite di massa (trafilaggio di aria dalle canalizzazioni) $Q_{l,da,m}$	
		Calcolo delle perdite nelle tubazioni di acqua refrigerata $Q_{l,dw}$	IV.III. Rendimento del sottosistema	→ UNI/TS 11300-1:2010, valori di riferimento

Fabbisogno di energia primaria per il raffrescamento				
Fase n°	Parametri e/o dati da determinare		Dati necessari e/o iter di calcolo sottesi al parametro	Fonte
V	Accumulo	Calcolo dell'energia in ingresso al sottosistema	V.I Calcolo delle perdite	→ superficie esterna del serbatoio, DA PROGETTO → spessore e conducibilità termica dello strato isolante, DA PROGETTO → durata del periodo considerato, da UNI/TS 11300-1:2008 → temperatura media dell'accumulo, DA PROGETTO → temperatura ambiente del locale di installazione dell'accumulo, DA PROGETTO
VI	Energia recuperata		VI.I Calcolo dell'energia recuperata da recuperatori di calore Q_{rc}	→ UNI/TS 11300-3:2010, metodo di calcolo
			VI.II Calcolo dell'energia recuperata da climatizzatori con recupero di calore Q_{cfc}	→ UNI/TS 11300-3:2010, metodo di calcolo
VII	Energia elettrica per gli ausiliari		VII.I Calcolo del fabbisogno di energia elettrica degli ausiliari del sottosistema di emissione $Q_{aux,e}$	→ temperatura media esterna del periodo di calcolo, da UNI 10349 → temperatura interna di regolazione, DA PROGETTO → temperatura di progetto, da UNI 10349 → potenza nominale della somma dei ventilatori, DA PROGETTO → numero di ore del periodo di calcolo, da UNI/TS 11300-1:2008
			VII.II Calcolo del fabbisogno di energia elettrica degli ausiliari del sottosistema di distribuzione $Q_{aux,d}$	→ fabbisogni elettrici di pompe a servizio di tubazioni d'acqua, da UNI/TS 11300-1:2008 → fattore medio di carico della macchina frigorifera → potenza nominale della somma dei ventilatori, DA PROGETTO → numero di ore del periodo di calcolo, da UNI/TS 11300-1:2008

		VII.III Calcolo del fabbisogno di energia elettrica degli ausiliari del sottosistema di generazione $Q_{aux,gn}$	→ fattore medio di carico della macchina frigorifera → potenza nominale della somma degli ausiliari esterni, DA PROGETTO → numero di ore del periodo di calcolo, da UNI/TS 11300-1:2008
--	--	--	---

Fabbisogno di energia primaria per il raffrescamento				
Fase n°	Parametri e/o dati da determinare		Dati necessari e/o iter di calcolo sottesi al parametro	Fonte
VIII	Generazione	Calcolo dell'energia in ingresso al sottosistema	VIII.I Calcolo dell'efficienza di generazione	→ rapporto di efficienza energetica ottenuto in corrispondenza del fattore di carico F_k , e ricavabile per interpolazione dalle curve degli EER, UNI/TS 11300-1:2010, valori di riferimento → fattore medio di carico della macchina frigorifera → coefficienti correttivi, da UNI/TS 11300-1:2010, valori di riferimento

2.2. Descrizione del foglio di calcolo

Il foglio di calcolo messo a punto permette il calcolo dei fabbisogni di energia termica per la climatizzazione invernale ed estiva degli edifici.

2.2.1. Dati edificio

Dati generali	
Nome edificio	-
Indirizzo	-
Comune	Torino
Provincia	Torino
Anno di costruzione	1968-1969
Proprietà dell'edificio	-
Destinazione d'uso prevalente	Residenziale
Tipologia edilizia	A torre

Proprietà geometriche dell'edificio									
Numero di piani fuori terra	-	10							
Numero di piani interrati	-	1							
Altezza media interpiano [m]		3,3							
Volume lordo climatizzato	V_l [m ³]	6606							
Superficie utile di pavimento	A_f [m ²]	1712							
Superficie dell'involucro	A_e [m ²]	3939	Rapporto A_e/A_f	[-]	2,30	Rapporto A_e/V_l	[m ⁻¹]	0,60	
Superficie finestrata	A_w [m ²]	289,84	Rapporto A_w/A_f	[-]	0,17	Rapporto A_w/A_e	[-]	0,07	

Caratterizzazione delle zone termiche					
Numero zona termica	Descrizione	Destinazione d'uso	Superficie utile di pavimento [m ²]	Scelta numero di zone	
1	Decimo p.f.t.	Residenziale	196		
2	Terzo-nono p.f.t.	Residenziale	1126		
3	Secondo p.f.t.	Residenziale	106		
4	Piano interrato	Uffici	284		

Periodo di climatizzazione			
	Riscaldamento	Raffrescamento	
Inizio	15-ott	-	
Fine	15-apr	-	

2.2.2. Dati relativi alle singole zone termiche

I dati che sinteticamente descrivono ciascuna zona termica si distinguono in:

- caratteristiche geometriche;
- dati relativi all'utenza e parametri gestionali;
- parametri termici.

DATI GENERALI					
		Dato	Valore	Dato	Valore
PROPRIETA' GEOMETRICHE	$A_{f,i}$ [m ²]		222		
	A_f [m ²]		196		
	V_i [m ³]		766		
	V [m ³]		588		
	κ_e [kJ/m ² K]		135		
DATI RELATIVI ALL'UTENZA e PARAMETRI GESTIONALI	$\Phi_{int,mn}$ [W]		839	$\Phi_{int,mn}/A_f$ [W/m ²]	4,28
	$q_{ve,mn}$ [m ³ /h]		176	$q_{ve,mn}/A_f$ [m ³ /h m ²]	0,90
	b_{ve} [-]		1		
	$\theta_{int,set,H}$ [°C]		20		
	$\theta_{int,set,C}$ [°C]		26		

DATI CALCOLATI					
		Dato	Valore	Dato	Valore
	A_e [m ²]		544	A_e/A_f [-]	2,78
PARAMETRI TERMICI DELLA ZONA	$\sum (F_i \cdot \Phi_{\tau})$ [W]		564		
	H_D [W/K]		546,4	H_D/A_f [W/m ² K]	2,79
	H_g [W/K]		0,0	H_g/A_f [W/m ² K]	0,00
	H_U [W/K]		43,1	H_U/A_f [W/m ² K]	0,22
	H_A [W/K]		0,0	H_A/A_f [W/m ² K]	0,00
	$H_{tr,adj}$ [W/K]		589,5	$H_{tr,adj}/A_f$ [W/m ² K]	3,01
	$H_{ve,adj}$ [W/K]		60,0	$H_{ve,adj}/A_f$ [W/m ² K]	0,31
	H_{ht} [W/K]		649,5	H_{ht}/A_f [W/m ² K]	3,31
	C_m [kJ/K]		73485	τ [h]	31,43

I dati che descrivono i singoli componenti edilizi riguardano gli elementi trasparenti, gli elementi opachi confinanti con l'esterno, quelli non confinanti con l'esterno, i ponti termici.

Elemento trasparente														
DEFINIZIONE		AMBIENTE CONFINANTE		PROPRIETA' GEOMETRICHE						PROPRIETA' TERMOFISICHE				
n°	Descrizione	Ambiente confinante	b_{tr} [-]	$A_{w,p}$ [m ²]	F_F [-]	ϕ [°]	Σ [°]	$F_{sh,ob,dif}$ [-]	F_r [-]	U_w [W/m ² K]	U_{washut} [W/m ² K]	g_{gl} [-]	g_{glwash} [-]	ϵ [-]
1	NORD_Tipo 1A-F	E	1,00	2,71	0,24	180	90	0,72	0,36	4,73	2,69	0,77	0,77	0,84
2	NORD_Tipo 1D-E	E	1,00	2,64	0,28	180	90	0,58	0,29	4,59	2,65	0,77	0,77	0,84
3	SUD_Tipo 1A	E	1,00	3,90	0,20	0	90	0,58	0,29	4,90	2,75	0,77	0,77	0,84
4	SUD_Tipo 1B-C-D	E	1,00	7,16	0,21	0	90	0,58	0,29	4,86	2,73	0,77	0,77	0,84
5	SUD_Tipo 1E	E	1,00	1,38	0,30	0	90	0,58	0,29	4,50	2,62	0,77	0,77	0,84
6	EST_Tipo 1A-B-C-D	E	1,00	11,06	0,21	90	90	0,72	0,36	4,88	2,74	0,77	0,77	0,84
7	EST_Tipo 1E	E	1,00	1,38	0,30	90	90	0,58	0,29	4,50	2,62	0,77	0,77	0,84
8	OVEST_Tipo 1B-F	E	1,00	3,83	0,26	-90	90	0,72	0,36	4,66	2,67	0,77	0,77	0,84
9		E	1,00											
10		E	1,00											

Elemento opaco confinante verso l'esterno														
DEFINIZIONE		AMBIENTE CONFINANTE		PROPRIETA' GEOMETRICHE						PROPRIETA' TERMOFISICHE				
n°	Descrizione	Ambiente confinante	b_{tr} [-]	A_c [m ²]	d_c [m]	ϕ [°]	Σ [°]	$F_{sh,ob,dif}$ [-]	F_r [-]	U_c [W/m ² K]	-	$U_{isol,c}$ [-]	-	ϵ [-]
1	NORD_Pareti tipo 1	E	1,00	60,2	0,3	180	90	1,00	0,50	0,79		0,60		0,90
2	NORD_Cassonetti	E	1,00	3,2	0,5	180	90	1,00	0,50	6,00		0,60		0,90
3	SUD_Pareti tipo 1	E	1,00	50,4	0,3	0	90	1,00	0,50	0,79		0,60		0,90
4	SUD_Cassonetti	E	1,00	6,1	0,5	0	90	1,00	0,50	6,00		0,60		0,90
5	EST_Pareti tipo 1	E	1,00	50,7	0,3	90	90	1,00	0,50	0,79		0,60		0,90
6	EST_Cassonetti	E	1,00	6,1	0,5	90	90	1,00	0,50	6,00		0,60		0,90
7	OVEST_Pareti tipo 1	E	1,00	55,7	0,3	-90	90	1,00	0,50	0,79		0,60		0,90
8	OVEST_Cassonetti	E	1,00	1,9	0,5	-90	90	1,00	0,50	6,00		0,60		0,90
9	Copertura piana	E	1,00	221,9	0,3	0	0	1,00	1,00	0,49		0,60		0,90
10		E	1,00					1,00						

Elemento opaco non confinante con l'ambiente esterno														
DEFINIZIONE		AMBIENTE CONFINANTE		PROPRIETA' GEOMETRICHE						PROPRIETA' TERMOFISICHE				
n°	Descrizione	Ambiente confinante	b_{tr} [-]	A_c [m ²]	d_c [m]	-	-	-	-	U_c [W/m ² K]	-	-	-	-
1	Pareti tipo 1	U1	0,50	48,0	0,2					1,50				
2	Porte su scala	U1	0,50	6,3	0,11					2,28				
3														
4														
5														
6														
7														
8														
9														
10														

Ponte termico														
DEFINIZIONE		AMBIENTE CONFINANTE		PROPRIETA' GEOMETRICHE						PROPRIETA' TERMOFISICHE				
n°	Descrizione	Ambiente confinante	b_{tr} [-]	l [m]	-	-	-	-	-	ψ [W/mK]	-	-	-	-
1														
2														
3														
4														
5														
6														
7														
8														
9														
10														

Elemento trasparente										
DEFINIZIONE		PROPRIETA' GEOMETRICHE						PROPRIETA' TERMOFISICHE		
n°	Descrizione	$A_{w,p}$ [m ²]	F_F [-]	ϕ [°]	Σ [°]	$F_{sh,ob,dif}$ [-]	F_r [-]	g_{gl} [-]	g_{gl+sh} [-]	ϵ [-]
1	NORD_Tipo 1A-F	2,7	0,24	180	90	0,72	0,36	0,77	0,77	0,84
2	NORD_Tipo 1D-E	2,6	0,28	180	90	0,58	0,29	0,77	0,77	0,84
3	SUD_Tipo 1A	3,9	0,20	0	90	0,58	0,29	0,77	0,77	0,84
4	SUD_Tipo 1B-C-D	7,2	0,21	0	90	0,58	0,29	0,77	0,77	0,84
5	SUD_Tipo 1E	1,4	0,30	0	90	0,58	0,29	0,77	0,77	0,84
6	EST_Tipo 1A-B-C-D	11,1	0,21	90	90	0,72	0,36	0,77	0,77	0,84
7	EST_Tipo 1E	1,4	0,30	90	90	0,58	0,29	0,77	0,77	0,84
8	OVEST_Tipo 1B-F	3,8	0,26	-90	90	0,72	0,36	0,77	0,77	0,84
9										
10										

Mese											
gennaio	febbraio	marzo	aprile	maggio	giugno	luglio	agosto	settembre	ottobre	novembre	dicembre
$F_{sh,ob}$ [-]											
0,72	0,72	0,72	0,73	0,76	0,76	0,77	0,73	0,72	0,72	0,72	0,72
0,58	0,58	0,58	0,58	0,57	0,56	0,56	0,57	0,57	0,58	0,58	0,58
0,74	0,67	0,59	0,50	0,47	0,48	0,45	0,47	0,55	0,64	0,73	0,76
0,66	0,60	0,54	0,47	0,45	0,46	0,43	0,44	0,51	0,58	0,65	0,68
0,53	0,46	0,42	0,38	0,37	0,37	0,35	0,36	0,40	0,45	0,52	0,54
0,84	0,78	0,76	0,72	0,70	0,68	0,68	0,70	0,76	0,80	0,83	0,86
0,34	0,49	0,50	0,56	0,59	0,58	0,58	0,57	0,55	0,45	0,35	0,31
0,84	0,78	0,76	0,72	0,70	0,68	0,68	0,70	0,76	0,80	0,83	0,86

Mese											
gennaio	febbraio	marzo	aprile	maggio	giugno	luglio	agosto	settembre	ottobre	novembre	dicembre
I_{sol} [W/m ²]											
21	29	43	64	88	105	105	73	49	34	22	17
21	29	43	64	88	105	105	73	49	34	22	17
104	125	138	130	113	110	123	124	130	134	106	111
104	125	138	130	113	110	123	124	130	134	106	111
104	125	138	130	113	110	123	124	130	134	106	111
47	71	103	135	149	161	178	145	111	82	51	46
47	71	103	135	149	161	178	145	111	82	51	46
47	71	103	135	149	161	178	145	111	82	51	46

Mese											
gennaio	febbraio	marzo	aprile	maggio	giugno	luglio	agosto	settembre	ottobre	novembre	dicembre
$f_{sh,with}$ [-]											
0,81	0,82	0,81	0,74	0,62	0,56	0,62	0,76	0,82	0,86	0,84	0,86
0,81	0,82	0,81	0,74	0,62	0,56	0,62	0,76	0,82	0,86	0,84	0,86
0,81	0,82	0,81	0,74	0,62	0,56	0,62	0,76	0,82	0,86	0,84	0,86
0,52	0,48	0,66	0,71	0,71	0,75	0,74	0,75	0,73	0,72	0,62	0,5
0,52	0,48	0,66	0,71	0,71	0,75	0,74	0,75	0,73	0,72	0,62	0,5
0,39	0,55	0,63	0,62	0,64	0,68	0,73	0,72	0,67	0,6	0,3	0,42

Mese											
gennaio	febbraio	marzo	aprile	maggio	giugno	luglio	agosto	settembre	ottobre	novembre	dicembre
$F_{sh,gl}$ [-]											
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	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
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	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
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	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Mese											
gennaio	febbraio	marzo	aprile	maggio	giugno	luglio	agosto	settembre	ottobre	novembre	dicembre
$A_{sol,w}$ [m ²]											
1,58	1,58	1,58	1,58	1,58	1,58	1,58	1,58	1,58	1,58	1,58	1,58
1,45	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45
2,39	2,39	2,39	2,39	2,39	2,39	2,39	2,39	2,39	2,39	2,39	2,39
4,33	4,33	4,33	4,33	4,33	4,33	4,33	4,33	4,33	4,33	4,33	4,33
0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74
6,68	6,68	6,68	6,68	6,68	6,68	6,68	6,68	6,68	6,68	6,68	6,68
0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74
2,17	2,17	2,17	2,17	2,17	2,17	2,17	2,17	2,17	2,17	2,17	2,17

Mese											
gennaio	febbraio	marzo	aprile	maggio	giugno	luglio	agosto	settembre	ottobre	novembre	dicembre
$\Phi_{sol,mn,w}$ [W]											
24	33	49	73	105	125	127	84	55	38	25	20
17	24	36	53	72	86	86	60	40	28	18	15
185	199	194	156	128	127	133	139	171	206	185	202
299	323	321	265	219	217	229	237	286	338	300	327
41	43	43	36	31	30	32	33	39	45	41	45
266	366	523	647	694	726	810	672	561	437	281	266
12	26	38	56	65	69	77	61	45	27	13	11
86	119	170	210	225	235	263	218	182	142	91	86

Elementi opachi

Per ciascun elemento opaco si procede in sequenza al calcolo dei valori medi mensili:

- fattore di riduzione per ombreggiatura relativo ad elementi esterni relativo all'area di captazione solare effettiva ($F_{sh,ob}$);
- irradianza solare sull'elemento (I_{sol});
- area di captazione solare effettiva dell'elemento (A_{sol});
- apporto solare dell'elemento ($\Phi_{sol,mn}$).

Elemento opaco confinante verso l'esterno										
n°	DEFINIZIONE Descrizione	PROPRIETA' GEOMETRICHE						PROPRIETA' TERMOFISICHE		
		A_c [m ²]	-	ϕ [°]	Σ [°]	$F_{sh,ob,dif}$ [-]	F_r [-]	$\alpha_{sol,c}$ [-]	-	δ [-]
1	NORD_Pareti tipo 1	60,15		180	90	1,00	0,50	0,6		0,9
2	NORD_Cassonetti	3,15		180	90	1,00	0,50	0,6		0,9
3	SUD_Pareti tipo 1	50,41		0	90	1,00	0,50	0,6		0,9
4	SUD_Cassonetti	6,1		0	90	1,00	0,50	0,6		0,9
5	EST_Pareti tipo 1	50,73		90	90	1,00	0,50	0,6		0,9
6	EST_Cassonetti	6,1		90	90	1,00	0,50	0,6		0,9
7	OVEST_Pareti tipo 1	55,65		-90	90	1,00	0,50	0,6		0,9
8	OVEST_Cassonetti	1,85		-90	90	1,00	0,50	0,6		0,9
9	Copertura piana	221,9		0	0	1,00	1,00	0,6		0,9
10						1,00				

Mese											
gennaio	febbraio	marzo	aprile	maggio	giugno	luglio	agosto	settembre	ottobre	novembre	dicembre
$F_{sh,ob}$ [-]											
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	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
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	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
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	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
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	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Mese											
gennaio	febbraio	marzo	aprile	maggio	giugno	luglio	agosto	settembre	ottobre	novembre	dicembre
I_{sol} [W/m ²]											
21	29	43	64	88	105	105	73	49	34	22	17
21	29	43	64	88	105	105	73	49	34	22	17
104	125	138	130	113	110	123	124	130	134	106	111
104	125	138	130	113	110	123	124	130	134	106	111
47	71	103	135	149	161	178	145	111	82	51	46
47	71	103	135	149	161	178	145	111	82	51	46
47	71	103	135	149	161	178	145	111	82	51	46
47	71	103	135	149	161	178	145	111	82	51	46
58	90	141	197	227	249	272	214	156	108	64	54

$A_{sol,c}$ [m ²]
1,14
0,45
0,96
0,88
0,96
0,88
1,06
0,27
2,61

Mese											
gennaio	febbraio	marzo	aprile	maggio	giugno	luglio	agosto	settembre	ottobre	novembre	dicembre
$\Phi_{sol,mn,c}$ [W]											
24	33	49	73	100	120	120	83	55	38	25	20
9	13	19	29	40	48	48	33	22	15	10	8
100	119	132	124	108	105	117	118	124	128	102	106
92	110	121	114	100	97	108	109	114	118	94	98
46	68	99	130	144	155	171	139	107	79	49	45
42	62	90	119	131	141	157	127	98	72	45	41
50	74	109	143	158	170	188	153	117	87	54	49
13	19	27	36	40	43	47	39	30	22	14	12
151	236	368	513	592	649	710	559	408	281	166	142

2.2.5. Calcolo del fabbisogno di energia termica

Il calcolo viene effettuato separatamente per ciascuna zona termica.

Per ciascun mese dell'anno vengono calcolati i seguenti parametri:

- durata del mese (t);
- temperatura esterna media ($\theta_{e,m}$);
- temperatura del giorno più freddo ($\theta_{e,m,1}$);
- temperatura del giorno più caldo ($\theta_{e,m,2}$);
- apporti termici interni ($Q_{int,m}$);
- apporti termici solari ($Q_{sol,m}$);
- apporti termici totali ($Q_{gn,m}$);
- scambio termico per trasmissione nel caso di riscaldamento/raffrescamento ($Q_{H/C,tr,m}$);
- scambio termico per ventilazione nel caso di riscaldamento/raffrescamento ($Q_{H/C,ve,m}$);
- scambio termico totale nel caso di riscaldamento/raffrescamento ($Q_{H/C,ht,m}$);
- durata della frazione di mese compresa nella stagione di riscaldamento/raffrescamento (t);
- temperatura esterna media nella frazione di mese compresa nella stagione di riscaldamento/raffrescamento (θ_e);
- apporti termici interni nella frazione di mese compresa nella stagione di riscaldamento/raffrescamento ($Q_{H/C,int}$);
- apporti termici solari nella frazione di mese compresa nella stagione di riscaldamento/raffrescamento ($Q_{H/C,sol}$);
- apporti termici totali nella frazione di mese compresa nella stagione di riscaldamento/raffrescamento ($Q_{H/C,gn}$);
- scambio termico per trasmissione nella frazione di mese compresa nella stagione di riscaldamento/raffrescamento ($Q_{H/C,tr}$);
- scambio termico per ventilazione nella frazione di mese compresa nella stagione di riscaldamento/raffrescamento ($Q_{H/C,ve}$);
- scambio termico totale nella frazione di mese compresa nella stagione di riscaldamento/raffrescamento ($Q_{H,ht}$);
- rapporto tra apporti e dispersioni termiche nel caso di riscaldamento/raffrescamento ($\gamma_{H/C}$);
- fattore di utilizzazione degli apporti termici nel caso di riscaldamento ($\eta_{H,gn}$);
- fattore di utilizzazione delle dispersioni termiche nel caso di raffrescamento ($\eta_{C,ls}$);
- fabbisogno netto di energia dell'edificio per riscaldamento/raffrescamento ($Q_{H/C}$).

Riscaldamento

		DEFINIZIONE ZONA TERMICA													
		n°	Descrizione												
		1	Decimo p.f.t.												
		Mese													
Dato richiesto		gennaio	febbraio	marzo	aprile	maggio	giugno	luglio	agosto	settembre	ottobre	novembre	dicembre	Totale	
	t [M]s	2,68	2,42	2,68	2,59	2,68	2,59	2,68	2,68	2,59	2,68	2,59	2,7	31,5	
	$\theta_{e,m}$ [°C]	0,4	3,2	8,2	12,7	16,7	21,1	23,3	22,6	18,8	12,6	6,8	2,0		
	$\theta_{e,m,1}$ [°C]	1,2	1,8	5,7	10,5	14,7	18,9	22,2	20,7	15,7	9,7	4,4	1,2		
	$\theta_{e,m,2}$ [°C]	1,8	5,7	10,5	14,7	18,9	22,2	23,0	23,0	20,7	15,7	9,7	4,4		
A_f [m ²]	196	$Q_{int,m}$ [MJ]	2247	2029	2247	2174	2247	2174	2247	2174	2247	2174	2247	26455	
		$Q_{sol,m}$ [MJ]	3900	4513	6396	7200	7902	8145	9168	7666	6356	5627	3920	74785	
τ [h]	31,4	$Q_{gn,m}$ [MJ]	6146	6542	8642	9374	10149	10320	11414	9913	8531	7873	6095	101240	
$\theta_{int,set,H}$ [°C]	20	$Q_{H,tr,m}$ [MJ]	32459	25324	20143	12617	6722	-219	-3700	-2594	3296	13195	21632	29932	158807
		$Q_{H,ve,m}$ [MJ]	3149	2438	1896	1135	530	-171	-530	-418	187	1189	2052	2892	14347
		$Q_{H,ht,m}$ [MJ]	35607	27762	22038	13752	7252	-390	-4230	-3012	3482	14384	23684	32824	173153
		$\theta_{e,H,bal}$ [°C]	16,5	15,8	15,0	14,4	14,2	13,9	13,4	14,3	14,9	15,5	16,4	16,4	
		t [M]s	2,68	2,42	2,68	2,43	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,58	2,59	2,68	18,1
		θ_e [°C]	0,4	3,2	8,2	12,4					12,6	6,8	2,0		
		$Q_{H,int}$ [MJ]	2247	2029	2247	2037	0	0	0	0	0	2162	2174	2247	15144
		$Q_{H,sol}$ [MJ]	3900	4513	6396	6745	0	0	0	0	0	5415	3920	3992	34880
		$Q_{H,gn}$ [MJ]	6146	6542	8642	8782	0	0	0	0	0	7577	6095	6239	50024
		$Q_{H,tr}$ [MJ]	32459	25324	20143	12191	0	0	0	0	0	12718	21632	29932	154399
		$Q_{H,ve}$ [MJ]	3149	2438	1896	1101	0	0	0	0	0	1146	2052	2892	14672
		$Q_{H,ht}$ [MJ]	35607	27762	22038	13292	0	0	0	0	0	13864	23684	32824	169071
		γ_H [-]	0,17	0,24	0,39	0,66						0,55	0,26	0,19	
a_H [-]	3,1	$\eta_{H,gn}$ [-]	1,00	0,99	0,97	0,88						0,92	0,99	1,00	
		Q_H [MJ]	29483	21276	13692	5521	0	0	0	0	0	6865	17658	26615	121110

Raffrescamento

		DEFINIZIONE ZONA TERMICA												
		n°	Descrizione											
		1	Decimo p.f.t.											
		Mese												
Dato richiesto		gennaio	febbraio	marzo	aprile	maggio	giugno	luglio	agosto	settembre	ottobre	novembre	dicembre	Totale
	t [Ms]	2,68	2,42	2,68	2,59	2,68	2,59	2,68	2,68	2,59	2,68	2,59	2,7	31,5
	$\theta_{e,m}$ [°C]	0,4	3,2	8,2	12,7	16,7	21,1	23,3	22,6	18,8	12,6	6,8	2,0	
	$\theta_{e,m,1}$ [°C]	1,2	1,8	5,7	10,5	14,7	18,9	22,2	20,7	15,7	9,7	4,4	1,2	
	$\theta_{e,m,2}$ [°C]	1,8	5,7	10,5	14,7	18,9	22,2	23,0	23,0	20,7	15,7	9,7	4,4	
A_f [m ²]	196	$Q_{int,m}$ [MJ]	2247	2029	2247	2174	2247	2174	2247	2174	2247	2174	2247	26455
		$Q_{sol,m}$ [MJ]	3900	4513	6396	7200	7902	8145	9168	7666	6356	5627	3920	74785
τ [h]	31,4	$Q_{gn,m}$ [MJ]	6146	6542	8642	9374	10149	10320	11414	9913	8531	7873	6095	101240
$\theta_{int,set,C}$ [°C]	26	$Q_{c,tr,m}$ [MJ]	41932	33881	29616	21785	16195	8950	5774	6879	12464	22669	30800	270352
		$Q_{c,ve,m}$ [MJ]	4112	3308	2859	2068	1494	762	434	546	1119	2153	2985	25695
		$Q_{c,ht,m}$ [MJ]	46045	37189	32476	23853	17689	9711	6208	7426	13583	24822	33785	296048
		$\theta_{e,c,bal}$ [°C]	22,5	21,8	21,0	20,4	20,2	19,9	19,4	20,3	20,9	21,5	22,4	
		t [Ms]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,59	2,68	2,68	0,00	0,00	0,00	7,9
		θ_e [°C]						21,1	23,3	22,6				
		$Q_{c,int}$ [MJ]	0	0	0	0	0	2174	2247	2247	0	0	0	6668
		$Q_{c,sol}$ [MJ]	0	0	0	0	0	8145	9168	7666	0	0	0	24979
		$Q_{c,gn}$ [MJ]	0	0	0	0	0	10320	11414	9913	0	0	0	31647
		$Q_{c,tr}$ [MJ]	0	0	0	0	0	8950	5774	6879	0	0	0	21603
		$Q_{c,ve}$ [MJ]	0	0	0	0	0	762	434	546	0	0	0	1742
		$Q_{c,ht}$ [MJ]	0	0	0	0	0	9711	6208	7426	0	0	0	23345
		γ_c [-]						1,06	1,84	1,34				
a_c [-]	7,7	$\eta_{c,ls}$ [-]						0,91	1,00	0,97				
		Q_c [MJ]	0	0	0	0	0	1483	5233	2707	0	0	0	9424

2.2.6. Calcolo del fabbisogno di energia primaria

Per ciascuna zona termica vengono calcolate le perdite dei sottosistemi di emissione e di regolazione.

		Mese											
		gennaio	febbraio	marzo	aprile	maggio	giugno	luglio	agosto	settembre	ottobre	novembre	dicembre
	$Q_{H,nd}$ [MJ]	29483	21276	13692	2947	0	0	0	0	0	3682	17658	26615
	η_e	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94
	$Q_{ls,e}$ [MJ]	1882	1358,1	874,0	188,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	235,0	1127,1	1699
	η_{rg}	0,90	0,86	0,77	0,65						0,70	0,85	0,89
	$Q_{ls,rg}$ [MJ]	3609	3690	4283	1694	0	0	0	0	0	1702	3385	3625
	$Q_{H,nd}+Q_{ls,e}+Q_{ls,rg}$	34974	26324	18849	4828	0	0	0	0	0	5619	22169	31938

Per l'intero edificio viene calcolate le perdite dei sottosistemi di distribuzione e generazione, e i consumi degli ausiliari.

$Q_{H,nd}+Q_{Is,e}+Q_{Is,rg}$	307420	231635	166611	44044	0	0	0	0	0	51535	195221	281021
η_d	0,934	0,934	0,934	0,934	0,934	0,934	0,934	0,934	0,934	0,934	0,934	0,934
$Q_{Is,d}$	21723	16368	11773	3112	0	0	0	0	0	3642	13795	19858
η_{gn}	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88
$Q_{Is,gn}$	44883	33819	24325	6430	0	0	0	0	0	7524	28502	41029
Q [MJ]	374027	281822	202709	53586	0	0	0	0	0	62701	237518	341908
Q [kWh]	103896	78284	56308	14885	0	0	0	0	0	17417	65977	94974
$Q_{aux,e}$ [kWh _e]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$Q_{aux,d}$ [kWh _e]	460,0	415,5	460,0	222,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	237,4	445,1	460,0
$Q_{aux,gn}$ [kWh _e]	85,1	76,8	85,1	41,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	43,9	82,3	85,1
$Q_{H,aux}^{*f,p,el}$ [kWh]	1188,2	1073,2	1188,2	574,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	613,3	1149,9	1188,2
Q [kWh]	105085	79357	57496	15460	0	0	0	0	0	18030	67127	96163

2.3. Linee guida per l'utilizzo del tool di certificazione

Secondo la determinazione n. 446 del 01/10/2009 del Settore Politiche Energetiche – Direzione Ambiente, la procedura di certificazione di un edificio prevede in capo al certificatore lo svolgimento di un complesso di operazioni, tra le quali:

- l'esecuzione di una valutazione standard (asset rating) finalizzata alla determinazione della prestazione energetica dell'edificio e degli eventuali interventi di riqualificazione energetica che risultino economicamente convenienti;
- la classificazione dell'edificio in funzione del parametro di valutazione EPL lordo e della scala di valutazione della classificazione energetica degli edifici come definiti al paragrafo 6.3 dell'Allegato alla D.G.R. 4 agosto 2009, n. 43-11965;
- la compilazione, l'apposizione della firma digitale e la trasmissione telematica dell'attestato prenotato.

Con riferimento al primo punto, la valutazione comprende:

- il reperimento dei dati di ingresso, relativi alle caratteristiche climatiche della località, alle caratteristiche dell'utenza, all'uso energetico dell'edificio e alle specifiche caratteristiche dell'edificio e degli impianti, avvalendosi, se disponibile, della documentazione tecnica e dell'attestato di qualificazione energetica;
- la determinazione degli indicatori della prestazione energetica globale e parziale mediante l'utilizzo delle metodologie previste al paragrafo 6 dell'Allegato alla D.G.R. 4 agosto 2009, n. 43-11965;
- l'individuazione delle opportunità di intervento per il miglioramento della prestazione energetica in relazione alle soluzioni tecniche proponibili, ai rapporti costi-benefici e ai tempi di ritorno degli investimenti necessari a realizzarle.

Sempre secondo la determinazione n. 446 del 01/10/2009 del Settore Politiche Energetiche – Direzione Ambiente, al fine di dimostrare il proprio operato e per garantire la produzione di un attestato di certificazione corretto, il certificatore deve aver cura di documentare le caratteristiche dimensionali, termo-fisiche ed impiantistiche dell'edificio. La documentazione deve essere conservata a cura del certificatore (almeno per cinque anni dall'emissione dell'attestato di certificazione).

2.3.1. Reperimento e formalizzazione dei dati di input

Per un corretto reperimento dei dati sottesi al calcolo energetico, è necessario in prima istanza distinguere gli edifici in nuovi ed esistenti.

In caso di edifici di nuova costruzione, ivi compresi quelli sottoposti a ristrutturazione integrale, la metodologia di calcolo è definita "di progetto" e prevede la valutazione della prestazione energetica a partire dai dati di ingresso del progetto energetico dell'edificio come costruito e dei sistemi impiantistici a servizio dell'edificio come realizzati. In questo caso, il certificatore dovrà svolgere sopralluoghi in cantiere, nelle fasi del processo esecutivo ritenute più importanti ai fini

dell'efficienza energetica; la documentazione relativa ai materiali impiegati per la realizzazione delle strutture di involucro e per la realizzazione dei sistemi impiantistici oggetto dell'attività di certificazione, nonché della loro posa in opera, deve essere conservata a cura del certificatore almeno per cinque anni dall'emissione dell'attestato di certificazione. Il certificatore si può avvalere della documentazione derivante da:

- certificazioni dei materiali impiegati;
- fotografie realizzate in sito;
- documenti progettuali prodotti;
- qualsiasi altra forma che possa fornire in modo analogo le necessarie informazioni.

Il certificatore deve documentare i dati geometrici, dimensionali, termo-fisici ed impiantistici, impiegati come input del calcolo, avvalendosi di rilievi svolti in forma grafica e/o fotografica, nonché avvalendosi della documentazione di progetto, previa opportuna verifica di conformità con quanto realizzato.

In caso di edifici esistenti, la metodologia di calcolo è definita "standard" ed è basata sul rilievo dell'edificio: la valutazione della prestazione energetica è svolta a partire dai dati di ingresso ricavati da indagini svolte direttamente sull'edificio esistente:

- mediante procedure di rilievo, anche strumentali, sull'edificio e/o sui dispositivi impiantistici effettuate secondo le normative tecniche di riferimento, previste dagli organismi normativi nazionali, europei e internazionali, o in mancanza di tali norme, dalla letteratura tecnico-scientifica;
- per analogia costruttiva con altri edifici e sistemi impiantistici coevi, integrata da banche dati o abachi nazionali, regionali o locali

Il certificatore deve documentare i dati geometrici, dimensionali, termo-fisici ed impiantistici, impiegati come input del calcolo effettuando il rilievo dimensionale delle superfici disperdenti e dei volumi climatizzati ed avvalendosi di documentazione fotografica e della documentazione di progetto (se esistente) opportunamente verificata.

Sia per gli edifici di nuova costruzione, sia per quelli esistenti, i dati necessari per il calcolo del fabbisogno di energia per la climatizzazione possono essere differenziati a seconda che si riferiscano all'edificio, all'impianto termico, all'utenza o al clima.

Tutti i dati relativi alle caratteristiche tipologiche e costruttive dell'edificio possono essere ricavati dal progetto termico del complesso edificio-impianto, ove disponibile. In mancanza di una documentazione tecnica di progetto, i dati relativi all'edificio devono essere ricavati sulla base delle informazioni relative alla tipologia edilizia e previo sopralluogo in campo. Anche nel caso sia disponibile il progetto termico del complesso edificio-impianto, è comunque necessario procedere ad un sopralluogo in campo per una verifica di massima della correttezza dei dati ricavati dalla documentazione tecnica di progetto.

I dati sull'edificio, distinti in base alle zone termiche definite, comprendono:

- il volume netto e la superficie netta calpestabile;
- le caratteristiche geometriche dell'involucro edilizio;
- le caratteristiche geometriche degli elementi ombreggianti (altri edifici, aggetti):
 - area;
 - posizione;
 - orientamento;
- le caratteristiche dei componenti finestrati che determinano i valori dei seguenti parametri termici e solari:
 - trasmittanza termica di vetri e telai;
 - resistenza termica aggiuntiva delle chiusure oscuranti;

- trasmittanza di energia solare totale dei vetri (in presenza e in assenza di schermature mobili);
- le caratteristiche costruttive e superficiali dei componenti opachi d'involucro che determinano i valori dei seguenti parametri termici:
 - trasmittanza termica;
 - capacità termica areica interna;
 - emissività termica della superficie esterna;
 - fattore di assorbimento solare della superficie esterna;
- le caratteristiche costruttive di tutti gli altri componenti della struttura edilizia (partizioni orizzontali e verticali) che determinano il valore della capacità termica interna;
- le caratteristiche dei ponti termici: tipologia, dimensioni, trasmittanza termica lineare.
- I dati sull'impianto comprendono:
- le caratteristiche del sottosistema di emissione: tipo e posizione dei terminali, temperatura di mandata del fluido termovettore;
- le caratteristiche del sottosistema di distribuzione:
 - percorso delle tubazioni;
 - lunghezza delle tubazioni;
 - trasmittanza termica delle tubazioni;
- le caratteristiche del sottosistema di generazione (generatore con combustione a fiamma):
 - potenza termica utile nominale;
 - rendimento a carico pieno;
 - rendimento a carico intermedio;
 - perdite a carico nullo;
 - temperatura del generatore;
- le caratteristiche del sottosistema di regolazione:
 - tipo di regolazione (es. climatica + zona);
 - modalità di regolazione (es. proporzionale con banda di regolazione di ampiezza pari a 1°C).

Oltre ai dati riferiti all'edificio ed all'impianto termico, è necessario che il certificatore reperisca ulteriori informazioni, quali:

- l'anno di costruzione dell'edificio;
- la/e destinazione/i d'uso;
- la tipologia edilizia (in linea, a torre, a schiera, ecc.);
- il volume lordo dello spazio riscaldato;
- il rapporto tra superficie disperdente e volume lordo dello spazio riscaldato;
- il rapporto tra superficie finestrata e superficie disperdente dello spazio riscaldato;
- il tipo di impianto termico;
- il tipo di terminali (radiatori, ventilconvettori, pannelli radianti, bocchette, ...);
- il tipo di regolazione (climatica, di zona, locale);
- il tipo di generatore (caldaia a gas, pompa di calore, ...);
- i valori rilevati dei consumi annui per il riscaldamento ambiente e per la produzione di acqua calda sanitaria negli ultimi tre anni;

- l'impiego di tecnologie per l'utilizzazione delle fonti rinnovabili di energia (sistemi solari, impianti a biomassa, sistemi di cogenerazione, ...).

Di seguito si riporta una procedura standard di rilievo dei dati in campo.

1. Planimetria dell'edificio e dell'area pertinente

- predisposizione di uno schema planimetrico di massima dell'edificio e dell'area pertinente sul quale sono rappresentati anche gli edifici circostanti ed ogni altro elemento esterno (orografia, vegetazione, ostruzioni varie) atto a schermare la radiazione solare o a influenzare il profilo dei venti;
- determinazione del volume lordo dello spazio riscaldato e la superficie disperdente.

2. Individuazione delle tipologie impiantistiche e delle zone termiche

- individuazione delle diverse utenze dell'edificio e delle corrispondenti tipologie di impianto di climatizzazione, in modo da arrivare alla definizione delle zone termiche;
- determinazione del volume interno di ciascuna zona termica.

3. Abaco delle facciate e delle chiusure superiori e inferiori

- per ogni facciata dell'edificio e per ogni copertura si rileva:
 - o l'orientamento,
 - o le dimensioni,
 - o la posizione, le dimensioni e la tipologia degli infissi;
- si rilevano le dimensioni del piano interrato (o seminterrato).

4. Caratterizzazione dei componenti dell'involucro e della struttura edilizia

- per i componenti opachi si rileva:
 - o la tipologia costruttiva;
 - o lo spessore;
 - o l'ambiente confinante (esterno, locale non riscaldato, terrapieno, ecc.);
 - o la finitura esterna;
 - o la finitura interna;
 - o la tipologia di isolamento termico;
 - o la tipologia di struttura portante.
- per gli infissi si rileva:
 - o la tipologia di vetro;
 - o la tipologia di telaio;
 - o la tipologia dell'eventuale oscuramento esterno e le dimensioni dell'eventuale cassonetto;
 - o la tipologia dell'eventuale schermatura mobile;
 - o le dimensioni del sottofinestra.
- individuazione dei ponti termici significativi, attraverso la definizione della tipologia e delle dimensioni.

Come esempio di scheda di reperimento e raccolta dei dati sulla struttura edilizia e sulla tipologia impiantistica necessari per il calcolo, si ricorda che le Raccomandazioni CTI 03/3 fornivano in appendice delle schede tipo, così come riportate in figura 2.3.1.

C.1 Schema planimetrico dell'edificio

Lo schema planimetrico dovrebbe contenere anche gli edifici circostanti ed ogni altro elemento atto a schermare la radiazione solare o a influenzare il profilo dei venti.

C.2 Schema per l'individuazione delle zone termiche, degli spazi non riscaldati e delle facciate

A titolo di esempio, nella figura C.1 si riporta lo schema di individuazione delle zone termiche, degli spazi non riscaldati e delle facciate.

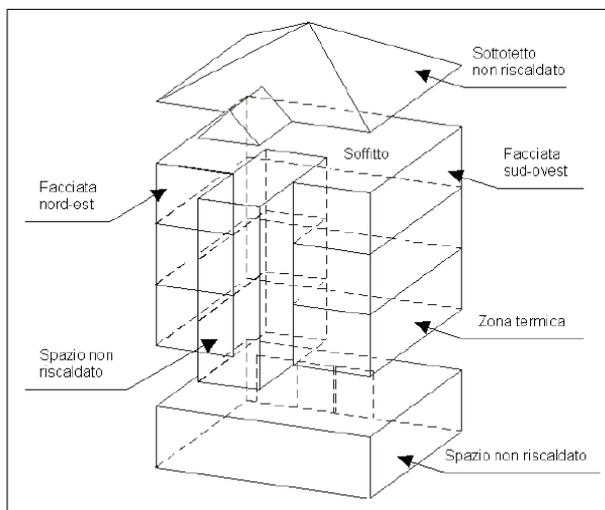


Figura C.1: Esempio di individuazione delle zone termiche, degli spazi non riscaldati e delle facciate.

C.3 Abaco delle facciate, delle chiusure superiori e inferiori, e delle partizioni interne

Facciate

Per ogni facciata si compilino le seguenti tabelle:

Facciata n. _____

Orientamento della facciata _____

Dimensioni della facciata _____

Sigla identificativa del componente	Tipo di componente (*)	Area [m ²]	F _s (solo per infissi)

(*) Parete perimetrale verticale, infisso esterno verticale, sottofinestra, cassonetto, ...

Sigla identificativa del ponte termico	Tipo di ponte termico (**)	Lunghezza a [m]	

(**) Si veda la classificazione riportata nella norma UNI EN ISO 14683.

A titolo di esempio, nella figura C.2 si riporta lo schema di suddivisione di una facciata in superfici tra loro omogenee.

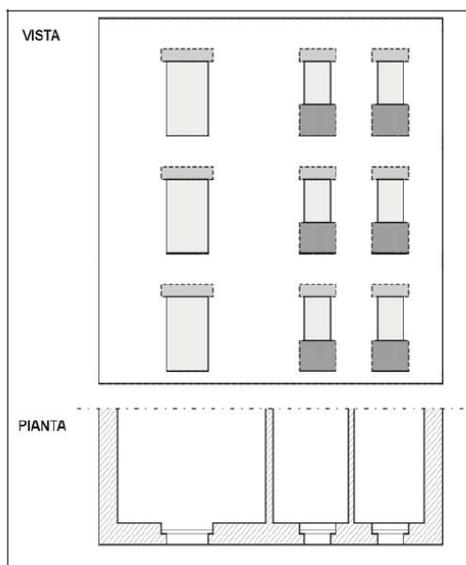


Figura C.2: Esempio di suddivisione di una facciata in superfici tra loro omogenee.

Chiusure superiori

Per ogni insieme di chiusure superiori si compilino le seguenti tabelle.

Chiusura superiore n. _____

Orientamento della chiusura superiore _____

Dimensioni della chiusura superiore _____

Sigla identificativa del componente	Tipo di componente (***)	Area [m ²]	F _S (solo per infissi)

Sigla identificativa del ponte termico	Tipo di ponte termico	Lunghezza [m]	F _s (solo per infissi)

(**) Copertura, lucernario, ...

Chiusure inferiori

Per ogni insieme di chiusure inferiori si compilino le seguenti tabelle.

Chiusura inferiore n. _____

Orientamento della chiusura inferiore _____

Dimensioni della chiusura inferiore _____

Sigla identificativa del componente/po nte termico	Tipo di componente	Area [m ²]	Tipo di ambiente confinante

Sigla identificativa del ponte termico	Tipo di ponte termico	Lunghezza [m]	Tipo di ambiente confinante

Partizioni interne

Per le partizioni interne si compili la seguente tabella.

Sigla identificativa del componente	Tipo di componente	Area [m ²]	Tipo di ambiente confinante

C.4 Caratterizzazione dei componenti opachi

Per tutti i tipi di componente opaco si compili la seguente tabella.

Sigla identificativa del componente	Tipo di componente	Tipologia costruttiva (****)	Spessore [m]	U [W/m ² K]	χ [J/m ² K]

(****) Si faccia riferimento alle tipologie costruttive definite nell'appendice A della presente raccomandazione.

C.5 Caratterizzazione degli infissi

Per tutti i tipi di infisso si compili la seguente tabella.

Sigla identificativa del componente	Tipo di componente	Tipologia di vetro	Tipologia di telaio	Tipologia di oscuramento esterno	U [W/m ² K]	g [-]	F _F [-]

C.6 Caratterizzazione dei ponti termici

Per tutti i tipi di ponte termico individuati si compili la seguente tabella.

Sigla identificativa del ponte termico	Tipologia di ponte termico	ψ [W/mK]

APPENDICE D ESEMPIO DI LISTA DESCRITTIVA DELL'EDIFICIO

LOCALITA' _____ PROVINCIA _____
 GRADI GIORNO _____ ZONA CLIMATICA _____
 EDIFICIO _____ UNITA' IMMOBILIARE _____
 ANNO DI COSTRUZIONE _____
 DESTINAZIONE D'USO _____
 TIPOLOGIA EDILIZIA (in linea, a torre, a schiera, casa isolata, ecc.) _____
 TIPOLOGIA COSTRUTTIVA (muratura portante, telaio in c.a., telaio in acciaio, ecc.) _____
 VOLUME LORDO DELLO SPAZIO RISCALDATO _____
 RAPPORTO TRA SUPERFICIE DISPERDENTE E VOLUME LORDO DELLO SPAZIO RISCALDATO _____
 RAPPORTO TRA SUPERFICIE FINESTRATA E SUPERFICIE DISPERDENTE DELLO SPAZIO RISCALDATO _____

TIPO DI IMPIANTO TERMICO _____
 TIPO DI TERMINALI (radiatori, ventilconvettori, pannelli radianti, bocchette, ...) _____
 TIPO DI REGOLAZIONE (climatica, di zona, locale, ...) _____
 TIPO DI GENERATORE (caldaia a gas, pompa di calore, ...) _____
 ANNO DI INSTALLAZIONE _____

VALORI DEI CONSUMI ANNUI PER RISCALDAMENTO E PER LA PRODUZIONE DI A.C.S (ultimi 3 anni)

ANNO _____	CONSUMI _____
ANNO _____	CONSUMI _____
ANNO _____	CONSUMI _____

IMPIEGO DI TECNOLOGIE PER L'UTILIZZAZIONE DELLE FONTI RINNOVABILI DI ENERGIA

SISTEMA	ADOZIONE (si / no)	NOTE
Sistemi fotovoltaici		
Sistemi fotovoltaici integrati		
Impianti termici ad energia solare		
Collettori solari per acqua calda sanitaria		
Impianti termici a biomassa		
Sistemi solari passivi		
Tecniche di architettura bioclimatica		
Sistemi di cogenerazione		
Teleriscaldamento/teleraffreddamento		

Figura 2.3.1 – Schede tipo di raccolta dati di tipo edilizio ed impiantistico, secondo le Raccomandazioni CTI 03/3.

2.3.2. Utilizzo di dati precalcolati

Per valutazioni effettuate su edifici esistenti, in assenza di dati di progetto attendibili o comunque di informazioni più precise, la norma prevede l'adozione di opportune semplificazioni nel calcolo e nella definizione dei dati d'ingresso. Le semplificazioni operate nella definizione dei dati d'ingresso rappresentano la principale causa di deviazione tra i risultati dei diversi strumenti di calcolo o, a parità di strumento di calcolo, dei diversi soggetti che li applicano.

La normativa tecnica fornisce una serie di semplificazioni rivolte principalmente alla certificazione energetica degli edifici esistenti, da adottarsi in assenza di dati di progetto attendibili.

Alcune semplificazioni riguardano l'uso di dati precalcolati per la caratterizzazione di singoli componenti, da adottarsi quando non si disponga di dati documentati e non si possano effettuare, anche per motivazioni di ordine economico, indagini sperimentali di approfondimento. Un quadro di sintesi dei dati precalcolati è rappresentato in tabella 2.3.1.

A completare il quadro della tabella 2.3.1, si ricorda anche l'ampio numero di valori default definiti dalla UNI/TS 11300-2 in appendice B ai fini della determinazione analitica del rendimento di generazione.

Tabella 2.3.1 - Dati precalcolati per la caratterizzazione del singolo componente.

Componente	Parametro	Variabili	Riferimento normativo
Componenti opachi dell'involucro	Trasmittanza termica	Tipologia costruttiva, spessore	UNI/TS 11300-1 – app. A
	Fattore di assorbimento solare	Colore	UNI/TS 11300-1 – par. 14.2
Componenti trasparenti dell'involucro	Trasmittanza di energia solare totale di vetri	Tipologia	UNI/TS 11300-1 – par. 14.3.1
	Fattore di riduzione della trasmittanza solare di schermature mobili	Tipologia	UNI/TS 11300-1 – par. 14.3.3
	Trasmittanza termica di vetri, telai e chiusure oscuranti	Tipologia	UNI/TS 11300-1 – app. C
	Fattore telaio ($1 - F_F$)	-	UNI/TS 11300-1 – par. 14.3.2
Ponti termici	Trasmittanza termica lineare	Tipologia di ponte termico, posizione dell'isolante	UNI EN ISO 14683
Sistema di distribuzione	Trasmittanza termica lineare	Diametro della tubazione, grado di isolamento	UNI/TS 11300-2 – par. A.5.6

Una seconda famiglia di dati precalcolati sono quelli finalizzati, non già alla caratterizzazione del singolo componente, ma alla modellazione semplificata di un fenomeno fisico che riguarda un intero gruppo di componenti. In questo caso l'utilizzo di valori precalcolati consente di evitare una descrizione analitica dei vari componenti che costituiscono la parte del sistema edificio-impianto considerata. In tabella 2.3.2 si riportano le principali semplificazioni previste dalle norme UNI/TS 11300.

Tabella 2.3.2 - Utilizzo di dati precalcolati per la modellazione semplificata del sistema edificio-impianto.

Sistema	Descrizione della semplificazione	Variabili	Riferimento normativo
Edificio	Determinazione semplificata del volume netto	Destinazione d'uso, spessore medio delle pareti esterne, presenza di partizioni	UNI/TS 11300-1 – par. 12.3
	Determinazione semplificata della superficie netta di pavimento	Spessore medio delle pareti esterne	UNI/TS 11300-1 – par. 13.3
Contesto esterno	Ombreggiatura di elementi esterni	Angolo medio sull'orizzonte, mese, orientamento	UNI/TS 11300-1 – app. D
Involucro edilizio	Determinazione forfetaria dell'effetto dei ponti termici	Tipo di struttura edilizia	UNI/TS 11300-1 – par. 11.1.3
	Fattore di correzione precalcolato dello scambio termico tra ambiente climatizzato e non climatizzato	Tipo di ambiente confinante	UNI/TS 11300-1 – par. 11.2
	Fattore di correzione precalcolato dello scambio termico tra ambiente climatizzato e terreno	Tipo di elemento	UNI/TS 11300-1 – par. 11.3
Struttura edilizia	Valori precalcolati della capacità termica interna	Numero di piani, caratteristiche di intonaci, pareti esterne e pavimenti	UNI/TS 11300-1 – par. 15.2
Sistema di distribuzione	Rendimenti di distribuzione	Numero di piani, percorso e grado di isolamento delle tubazioni	UNI/TS 11300-2 – par. 6.6.3.1
Sistema di generazione	Rendimenti di generazione	Tipo e posizione del generatore, sovradimensionamento, altezza del camino, temperatura del fluido termovettore	UNI/TS 11300-2 – par. 6.6.5.1 UNI/TS 11300-2 – par. 6.6.5.2

2.3.3. Condizioni al contorno

Rientrano tra i dati da reperire riferiti alle condizioni al contorno, sia quelli riferiti all'utenza, sia la contestualizzazione dell'intervento.

I dati sull'utenza comprendono:

- le modalità di occupazione dell'edificio:
 - o profilo giornaliero, settimanale e mensile di occupazione;
 - o attività svolte;
 - o apparecchiature presenti;
 - o apporti interni di calore;
- le modalità di gestione delle chiusure oscuranti e delle schermature mobili delle finestre;
- le modalità di ventilazione:
 - o tipo di ventilazione (naturale, meccanica);
 - o tipo di regolazione della portata;

- portata di ventilazione;
- le modalità di gestione dell'impianto termico
 - durata del periodo di riscaldamento;
 - profilo giornaliero e settimanale di funzionamento;
 - temperatura di set-point;
 - temperatura di set-back (eventuale).

I dati climatici comprendono i valori medi mensili della temperatura esterna e dell'irradianza solare sui diversi componenti dell'involucro edilizio.

Per le valutazioni energetiche che hanno come finalità la verifica dei requisiti di legge e la certificazione energetica, risulta necessario fare riferimento a un'utenza convenzionale e ad un clima di riferimento, in modo da depurare il risultato dall'effetto dello specifico comportamento dell'utenza o da particolari condizioni climatiche. La UNI/TS 11300 definisce tali condizioni al contorno "standard". A tal fine, per quanto riguarda i dati climatici la UNI/TS 11300 richiama la norma UNI 10349 (valori di temperatura e irradianza solare medi mensili) e il D.P.R. 412/1993 (gradi giorno). Con riferimento alle condizioni termiche degli edifici o delle unità immobiliari adiacenti, la UNI/TS 11300-1 impone una temperatura di 20 °C in inverno e di 26 °C in estate. Per quanto riguarda, invece, le modalità di gestione del sistema edificio-impianto, la UNI/TS 11300-1 definisce un'utenza convenzionale, come sinteticamente schematizzato in tabella 2.3.3.

Tabella 2.3.3 - Utenza convenzionale (secondo la UNI/TS 11300-1).

Elemento	Dato	Criterio	Variabili	Riferimento normativo
Occupante	Apporti interni di calore	Valore tabulato	Destinazione d'uso	UNI/TS 11300-1 – par. 13.1.1
	Gestione delle chiusure oscuranti	Chiusura notturna (12 h)	-	UNI/TS 11300-1 – par. 11.1.2
	Gestione delle schermature mobili	Chiusura con valori di irradianza solare maggiori di 300 W/m ²	Latitudine Orientamento Mese	UNI/TS 11300-1 – par. 14.3.4
	Portata di ventilazione naturale	Valore tabulato	Destinazione d'uso	UNI/TS 11300-1 – par. 12.1.1
Impianto di ventilazione meccanica	Portata di ventilazione	$q_{ve,des} \cdot k$ k = fattore di contemporaneità	Portata di progetto	UNI/TS 11300-1 – par. 12.1.1
	Ventilazione notturna	Azionamento notturno (23:00 – 7:00)	Portata di progetto	UNI/TS 11300-1 – par. 12.2
Impianto termico	Periodo di riscaldamento	Valore tabulato	Zona climatica (gradi giorno)	UNI/TS 11300-1 – par. 10.1.1
	Profilo di funzionamento dell'impianto	Continuo	-	UNI/TS 11300-1 – par. 15.3.1
	Temperatura interna di regolazione	Valore tabulato	Destinazione d'uso	UNI/TS 11300-1 – par. 8.1

3. VALIDAZIONE DELLA UNI/TS 11300

3.1 Descrizione del modello di simulazione dinamica

EnergyPlus è un codice di simulazione a struttura modulare, realizzato dall'*US Department of Energy* a partire dal 2001 che effettua il calcolo termico relativo a ciascuna zona dell'edificio secondo il modello del bilancio termico dell'aria interna.

Uno degli aspetti principali della simulazione dinamica con EnergyPlus è rappresentato dalla possibilità di simulare e integrare tutti gli aspetti principali del sistema edificio-impianto: dai carichi termici in ambiente, all'impianto di climatizzazione, al sistema di generazione.

Il codice integra la simulazione dell'edificio con quella dell'impianto, consentendo in questo modo di trasferire l'informazione relativa al carico che l'impianto è effettivamente in grado di bilanciare al fine di determinare le condizioni di temperatura dell'aria in ambiente secondo un processo di tipo iterativo.

Inoltre è possibile definire il *time step* per l'analisi dell'interazione tra le zone termiche e l'ambiente esterno, così come quello per l'analisi dell'interazione tra l'aria ambiente e l'impianto di climatizzazione. I due *time step* possono essere differenti, al fine di venire incontro a una modellazione dei sistemi di gestione e regolazione dell'impianto che sia quanto più realistica possibile. Il simulatore è costituito da tre moduli principali, il *surface heat balance manager* che risolve il bilancio termico in corrispondenza della superficie di ciascuna parete, l'*air heat balance manager* che risolve bilancio termico in ambiente considerando gli scambi radiativi e convettivi e il *building system simulation manager* per la simulazione dei componenti impiantistici.

I tre moduli appena descritti sono applicati simultaneamente insieme ad altri secondari, e non in cascata, al fine di ottenere una simulazione realistica del sistema edificio-impianto.

Si procede pertanto secondo successive iterazioni tra la richiesta di energia da parte dell'edificio e l'offerta di energia da parte dell'impianto:

- si stima dapprima il carico termico dell'edificio fissando una temperatura interna di set-point;
- si assume questo carico pari alla potenza termica richiesta all'impianto, e successivamente viene simulato il funzionamento reale dell'impianto di climatizzazione stimando l'effettiva potenza termica che esso è capace di erogare per ogni istante temporale;
- a partire da questa potenza termica viene determinata l'effettiva temperatura della zona termica approssimando la derivata temporale della temperatura dell'aria, nel termine che rappresenta la variazione dell'energia interna del sistema, attraverso una differenza finita del terzo ordine.

Un procedura di tale natura è necessaria a stimare le reali condizioni di funzionamento dell'impianto ai carichi parziali, per cui la temperatura e la portata del fluido vettore sono funzione della temperatura della zona termica da climatizzare.

L'*air heat balance* si basa sulle ipotesi che l'aria all'interno della zona termica sia a temperatura uniforme, che la temperatura di ogni superficie sia uniforme, che la distribuzione della radiazione ad alta e bassa lunghezza d'onda sia uniforme, che l'irraggiamento sulle superfici sia di tipo diffuso e che la conduzione termica attraverso le superfici sia mono-dimensionale. Al netto dello scambio termico dovuto all'infiltrazione ed alla miscelazione dell'aria tra zone adiacenti, l'equazione di bilancio termico dell'aria si può scrivere come:

$$c_z \frac{d\theta_z}{d\tau} = \sum_{i=1}^N \dot{Q}_{i,c} + \sum_{i=1}^{N_{\text{surfaces}}} h_i A_i (\theta_{s,i} - \theta_z) + \dot{m}_v c_p (\theta_\infty - \theta_z) + \dot{Q}_{\text{sys}} \quad (7)$$

dove θ_z è la temperatura dell'aria della zona z , N è il numero di sorgenti termiche interne che generano un carico convettivo $\dot{Q}_{i,c}$, $h_i \cdot A_i \cdot (\theta_{s,i} - \theta_z)$ è lo scambio termico convettivo dalle superfici interne a temperatura $\theta_{s,i}$ che racchiudono l'ambiente interno della zona, mentre $\dot{m}_v \cdot c_p \cdot (\theta_\infty - \theta_z)$ è lo scambio termico dovuto alla ventilazione con aria esterna, e \dot{Q}_{sys} è l'output dell'impianto di climatizzazione. La capacità c_z tiene in conto sia il contributo dell'aria della zona, sia quello delle masse termiche considerate in equilibrio termico con l'aria della zona.

Al bilancio dell'aria ambiente è legato il *surface heat balance manager* che comprende i moduli per la determinazione delle temperature superficiali e dei flussi termici in corrispondenza delle facce interna ed esterna di ogni parete. I flussi termici scambiati attraverso i componenti di involucro sono calcolati attraverso la tecnica dei fattori di risposta la quale si basa sul concetto di funzione di trasferimento, attraverso cui è possibile legare la sollecitazione indotta sul sistema fisico parete con la risposta del sistema. È possibile inoltre calcolare il flusso per conduzione attraverso metodi alle differenze finite. Vari altri moduli interagiscono con il *surface heat balance manager*, quali ad esempio quelli che consentono la determinazione della posizione del sole e le condizioni di radiazione solare e di illuminazione naturale, le ombre proprie e portate sui componenti di involucro e le proprietà dei componenti trasparenti.

Attraverso il *building system simulation manager* è possibile simulare i più importanti componenti impiantistici per la climatizzazione ambientale; esso è basato su una scomposizione dei componenti di un impianto in tre sotto-sistemi: l'*air loop*, il *plant loop*, e il *condenser loop*.

Attraverso l'*air loop* è possibile modellare le reti aerauliche, dalle unità di trattamento aria ai terminali in ambiente; attraverso il *plant loop* e il *condenser loop* è possibile modellare le reti idroniche.

3.1.1. Dati di ingresso in EnergyPlus

Dati geometrici

- Pianta, sezioni e prospetti dell'edificio in formato .dwg (se è a disposizione) con indicazione dell'orientamento/Pianta catastale in scala con le dimensioni lineari anche delle partizioni interne con indicazione dell'orientamento.
- Segnalazione delle parti riscaldate e di quelle non riscaldate.
- Numero di piani.
- Altezza di interpiano.
- Volume lordo e netto dell'edificio.
- Individuazione delle zone termiche dell'edificio.
- Superficie lorda e superficie netta di piano per ogni zona termica.
- Dimensioni delle finestre (vetro + telaio) e del telaio (% sul vano finestra) con indicazione della loro ubicazione per ogni stanza.
- Tipologia di schermatura interna e esterna delle finestre.
- Numero degli edifici nell'intorno dell'edificio da analizzare con indicazione della loro altezza, larghezza e posizione relativa rispetto all'edificio oggetto d'indagine.

Dati di struttura

- Stratigrafia delle murature confinanti verso l'esterno e, se presenti, verso ambienti non riscaldati.
- Stratigrafia del solaio sul piano terreno.
- Stratigrafia del solaio di copertura confinante verso l'esterno e, se presente, verso ambienti non riscaldati.

- Tipologia di vetratura (vetro semplice, doppio, vetro colorati ...) e di telaio costituenti i serramenti per ogni stanza.
- Colore della superficie esterna.

NB: per stratigrafia si intende spessore, conducibilità termica, massa volumica e calore specifico di ogni strato costituente il componente in esame.

Dati di utenza

- Destinazione d'uso dell'edificio (uffici, residenza).
- Profilo di occupazione (numero di persone presenti in funzione del tempo, in ore).
- Tipologia e numero di apparecchiature presenti con indicazione della potenza elettrica assorbita (apparecchi di illuminazione, computer ecc) e relativo profilo di funzionamento.
- Valutazione qualitativa dello sfruttamento della ventilazione naturale (indicazione della modalità e frequenza di apertura delle finestre per consentire il ricambio dell'aria).

Dati impiantistici

- Tipologia di impianto di riscaldamento esistente.
- Potenza termica nominale, rendimento nominale, tipologia e orario di funzionamento della caldaia.
- Tipologia di sistema di distribuzione.
- Numero, tipologia e potenza termica dei terminali.
- Sistema di regolazione.
- Profilo di temperatura di set point programmato.
- Indicazione delle condizioni di temperatura di set-point interna in ogni zona termica.

3.2 Primo caso studio

3.2.1 Descrizione dell'edificio: torre uffici

Il primo edificio oggetto di valutazione è rappresentato da una palazzina a torre adibita ad uso terziario, facente parte di un progetto più ampio che prevede annessa una seconda palazzina a torre, di dimensioni in pianta ed altezza ridotte, adibita ad uso residenziale (figura 3.2.1).

Ai fini del presente lavoro, l'edificio a torre ad uso uffici è stato ipotizzato singolarmente quale edificio isolato.

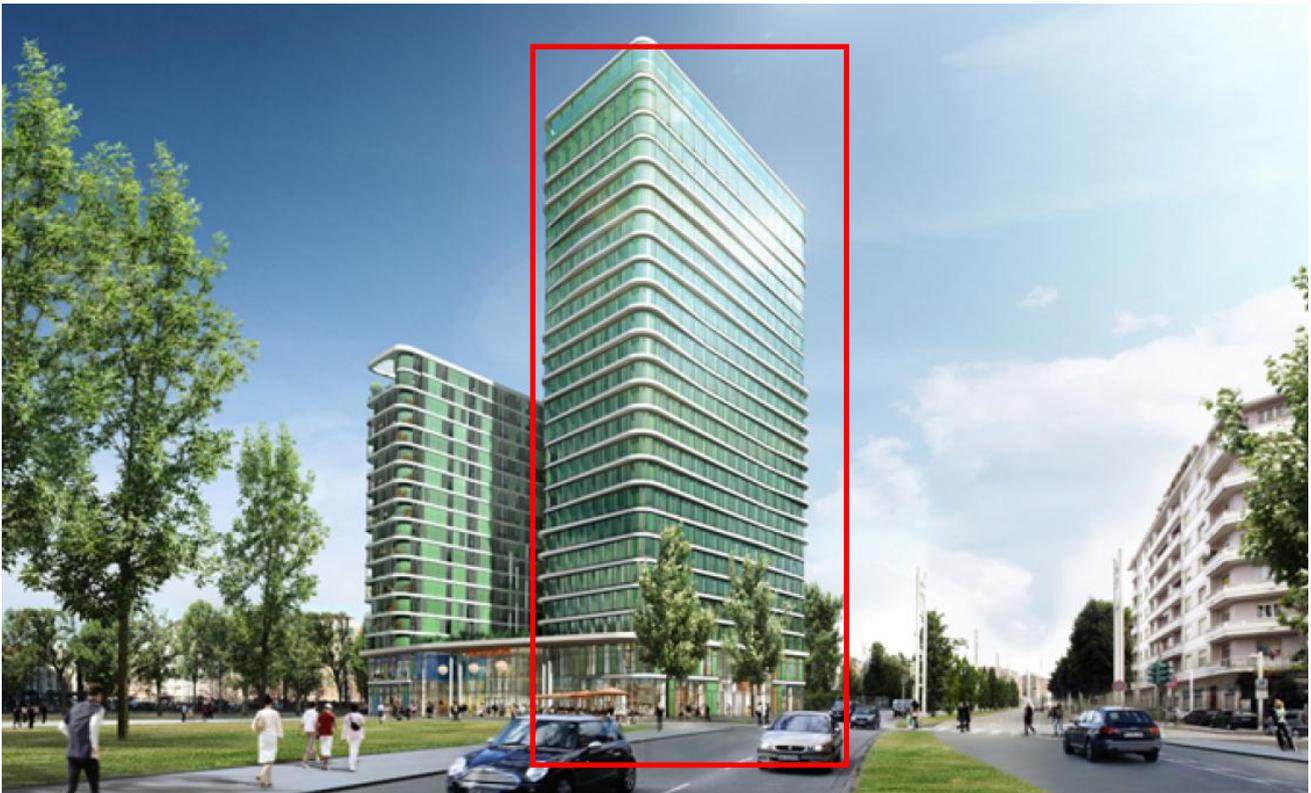


Figura 3.2.1 – Contestualizzazione del caso studio. Nel riquadro, l'edificio oggetto di simulazione.

L'edificio è rappresentato da una palazzina di 24 piani, dei quali:

- il piano terreno adibito ad area commerciale e ristorazione;
- i piani dal 1° al 23° compresi, adibiti ad uffici;
- il piano 24° adibito a centrale termica.

L'edificio è caratterizzato da un'altezza totale di 89,30 m; l'altezza di interpiano delle zone adibite ad uffici è pari a 3,50 m (2,90 m netta), mentre il piano adibito a centrale termica ha un'altezza di 5,30. In tabella 3.2.1 sono riassunti i principali dati dimensionali dell'edificio.

Tabella 3.2.1 – Dati dimensionali dell'edificio.

PIANO INTERRATO										
UNICA ZONA NON RISCALDATA ADIBITA AD AUTORIMESSA										
Volume netto [m ³]	2729									
Superficie netta di piano [m ²]	941									
PIANO TERRA										
RISTORANTE		CAFFETTERIA		NEGOZIO				BAGNO 1	BAGNO 2	SCALE
Volume netto [m ³]	632		310		632			168	168	505
Superficie netta di piano [m ²]	218		107		218			58	58	174
PRIMO PIANO										
ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3	ZONA 4	ZONA 5	ZONA 6	ZONA 7	CORRIDOIO	BAGNO 1	BAGNO 2	SCALE
Volume netto [m ³]	161	191	131	324	133	314	321	168	168	505
Superficie netta di piano [m ²]	55	66	45	112	46	108	111	58	58	174
SECONDO PIANO										
ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3	ZONA 4	ZONA 5	ZONA 6	ZONA 7	CORRIDOIO	BAGNO 1	BAGNO 2	SCALE
Volume netto [m ³]	95	191	131	324	133	284	324	402	169	505
Superficie netta di piano [m ²]	33	66	45	112	46	98	112	139	58	174
DAL TERZO AL QUINDICESIMO PIANO										
ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3	ZONA 4	ZONA 5	ZONA 6	ZONA 7	CORRIDOIO	BAGNO 1	BAGNO 2	SCALE
Volume netto [m ³]	95	191	131	324	133	284	324	402	169	505
Superficie netta di piano [m ²]	33	66	45	112	46	98	112	139	58	174
SEDICESIMO PIANO										
ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3	ZONA 4	ZONA 5	ZONA 6	ZONA 7	CORRIDOIO	BAGNO 1	BAGNO 2	SCALE
Volume netto [m ³]	95	191	131	324	133	284	324	402	169	505
Superficie netta di piano [m ²]	33	66	45	112	46	98	112	139	58	174
DICIASSETTESIMO PIANO										
ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3	ZONA 4	ZONA 5	ZONA 6	ZONA 7	CORRIDOIO	BAGNO 1	BAGNO 2	SCALE
Volume netto [m ³]	95	191	141	473	247	299	324	402	169	505
Superficie netta di piano [m ²]	33	66	49	163	85	103	112	139	58	174
DAL DICOTTESIMO AL VENTIDUESIMO PIANO										
ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3	ZONA 4	ZONA 5	ZONA 6	ZONA 7	CORRIDOIO	BAGNO 1	BAGNO 2	SCALE
Volume netto [m ³]	95	191	141	473	247	299	324	402	169	505
Superficie netta di piano [m ²]	33	66	49	163	85	103	112	139	58	174
VENTITREESIMO PIANO										
ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3	ZONA 4	ZONA 5	ZONA 6	ZONA 7	CORRIDOIO	BAGNO 1	BAGNO 2	SCALE
Volume netto [m ³]	95	191	141	473	247	299	324	402	169	505
Superficie netta di piano [m ²]	33	66	49	163	85	103	112	139	58	174
VENTIQUATTRESIMO PIANO										
UNICA ZONA NON RISCALDATA ADIBITA A CENTRALE TERMICA										
Volume netto [m ³]	4889									
Superficie netta di piano [m ²]	1040									

Escludendo il piano terreno ed il primo piano, i restanti possono essere classificati secondo due tipologie:

- la tipologia A, caratterizzata da una superficie in pianta di 941 m², utilizzata per i piani dal 2° al 16° compresi;
- la tipologia B, caratterizzata da una superficie in pianta di 1040 m², utilizzata per i piani dal 17° al 24° compresi.

In entrambe le tipologie A e B, gli uffici sono organizzati attorno ad un'area centrale, e sono confinanti con l'ambiente esterno. La parte centrale di ogni piano ospita un'area di servizio (vani scala ed ascensore) e ad essa sono annesse due aree per servizi igienici; vani scala e servizi igienici sono collegati alla zona uffici da un corridoio.

Per una corretta valutazione energetica dell'edificio, le tipologie A e B sono state suddivise in 11 zone che si estendono per tutti i piani dal 2° al 23° compresi, come mostrano le figure da 3.2.2 a 3.2.5.

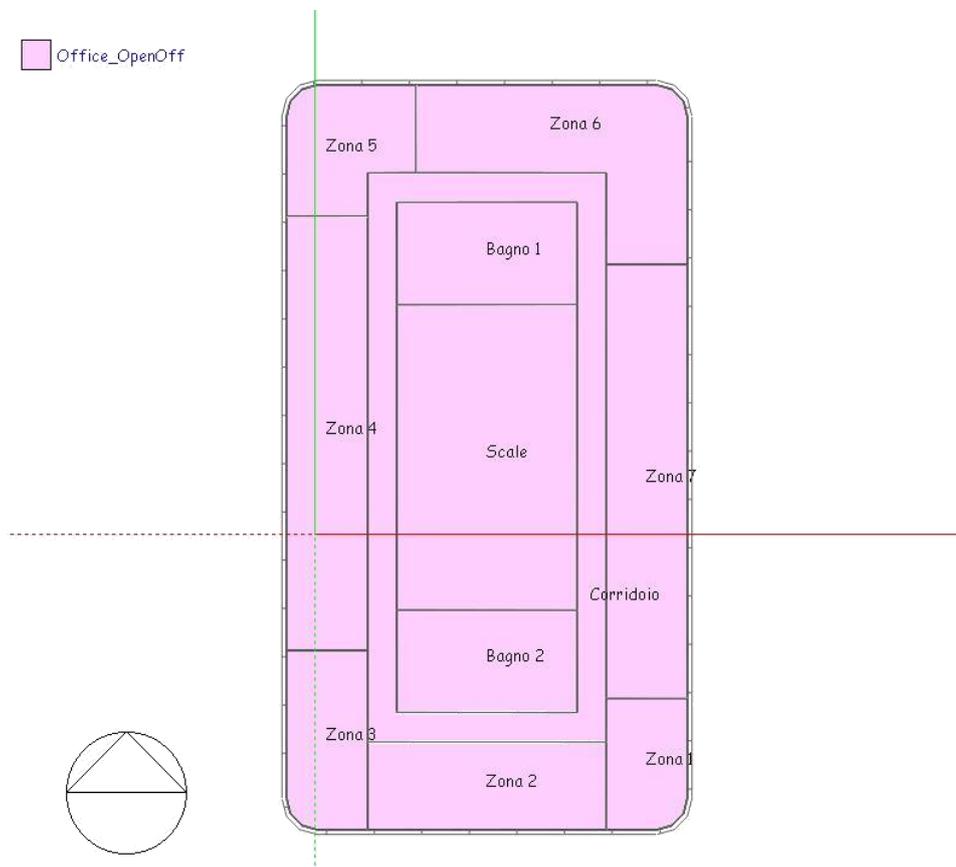


Figura 3.2.2 – Suddivisione in zone termiche della tipologia A di piano tipo.

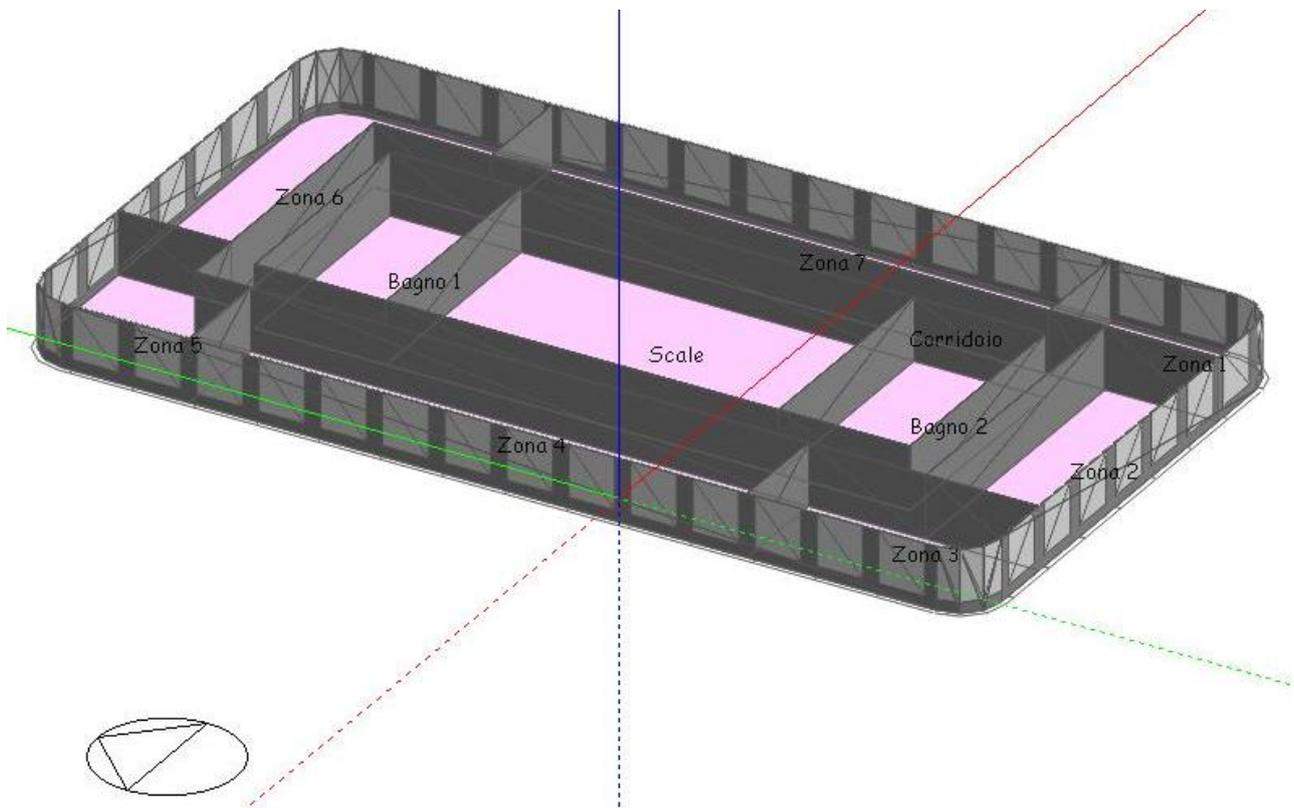


Figura 3.2.3 – Vista assonometrica della tipologia A di piano tipo

Le zone dalla 1 alla 7 ospitano uffici, mentre le rimanenti zone ospitano rispettivamente il corridoio, i due servizi igienici e l'area vano scala e ascensori; ad eccezione di questa ultima, ogni zona è riscaldata ed è per questo considerata zona termica. La sostanziale ed unica differenza tra le tipologie A e B, risiede nell'ampliamento del solaio di pavimento in concomitanza delle facciate Nord ed Ovest; tale sporgenza provoca la formazione di ombre proprie sui medesimi prospetti dei piani sottostanti al 17°, che dovranno essere valutate ai fini della corretta considerazione degli apporti interni di tipo solare.

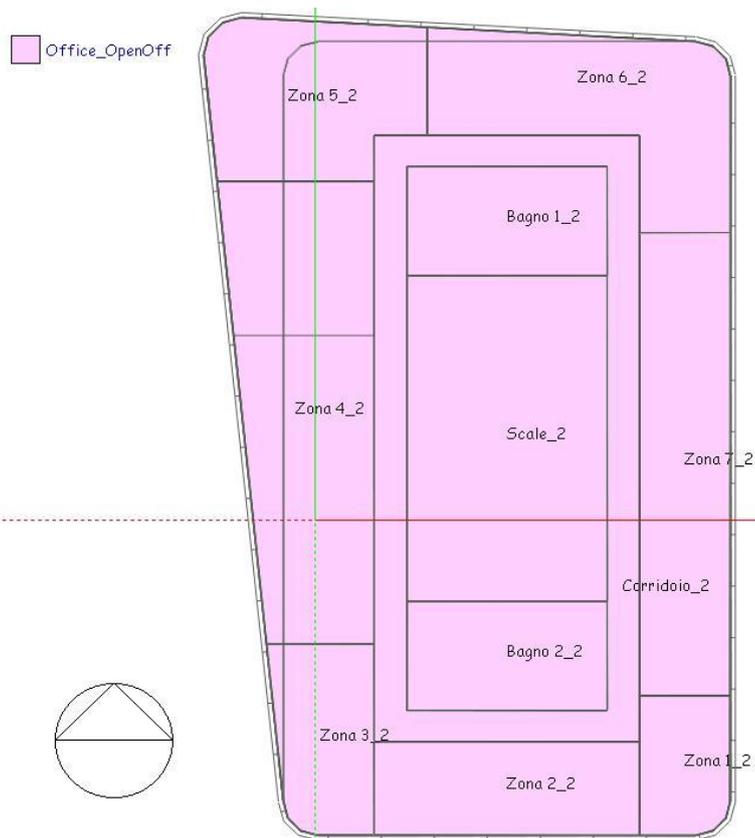


Figura 3.2.4 – Suddivisione in zone termiche della tipologia B di piano tipo.

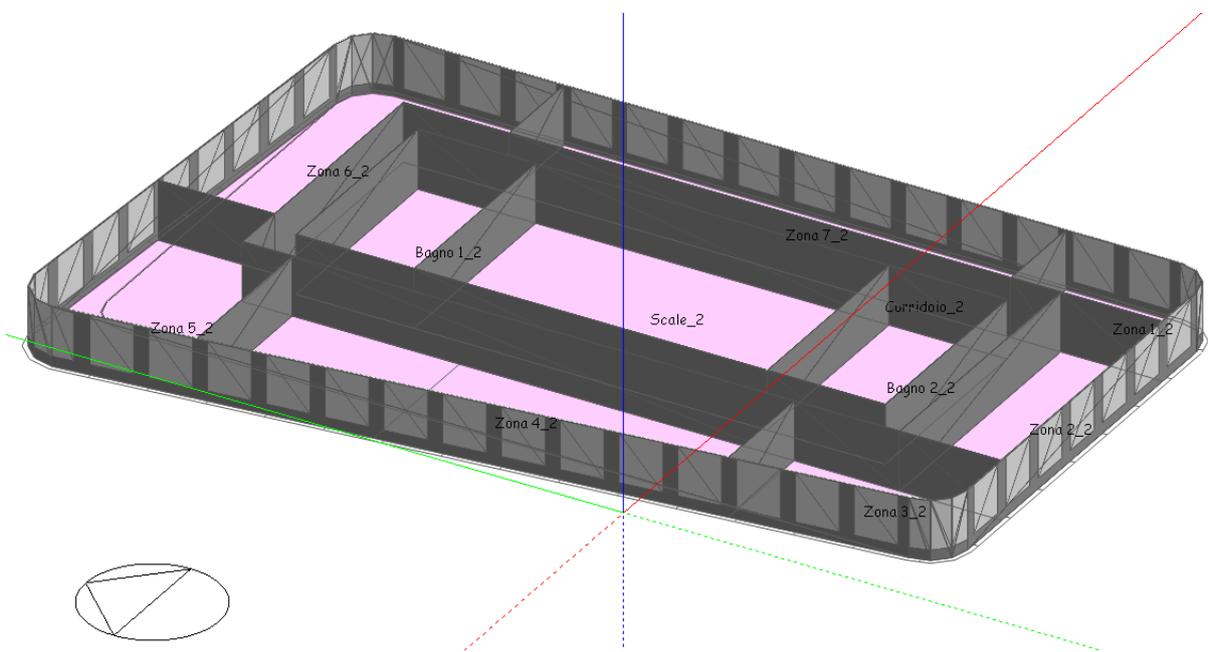


Figura 3.2.5 – Vista assometrica della tipologia B di piano tipo.

Il piano terreno si distingue dai restanti sia per destinazione d'uso, sia per dimensioni: con una superficie in pianta di 833 m², il piano ospita una caffetteria, un ristorante ed un'area adibita a negozio (figura 3.2.6). All'edificio si accede sia attraverso un atrio vetrato aperto, che collega direttamente all'area scale ed ascensori di servizio per gli uffici soprastanti, sia attraverso ingressi singoli, posti sul perimetro dell'edificio, di ingresso alle singole attività commerciali presenti.

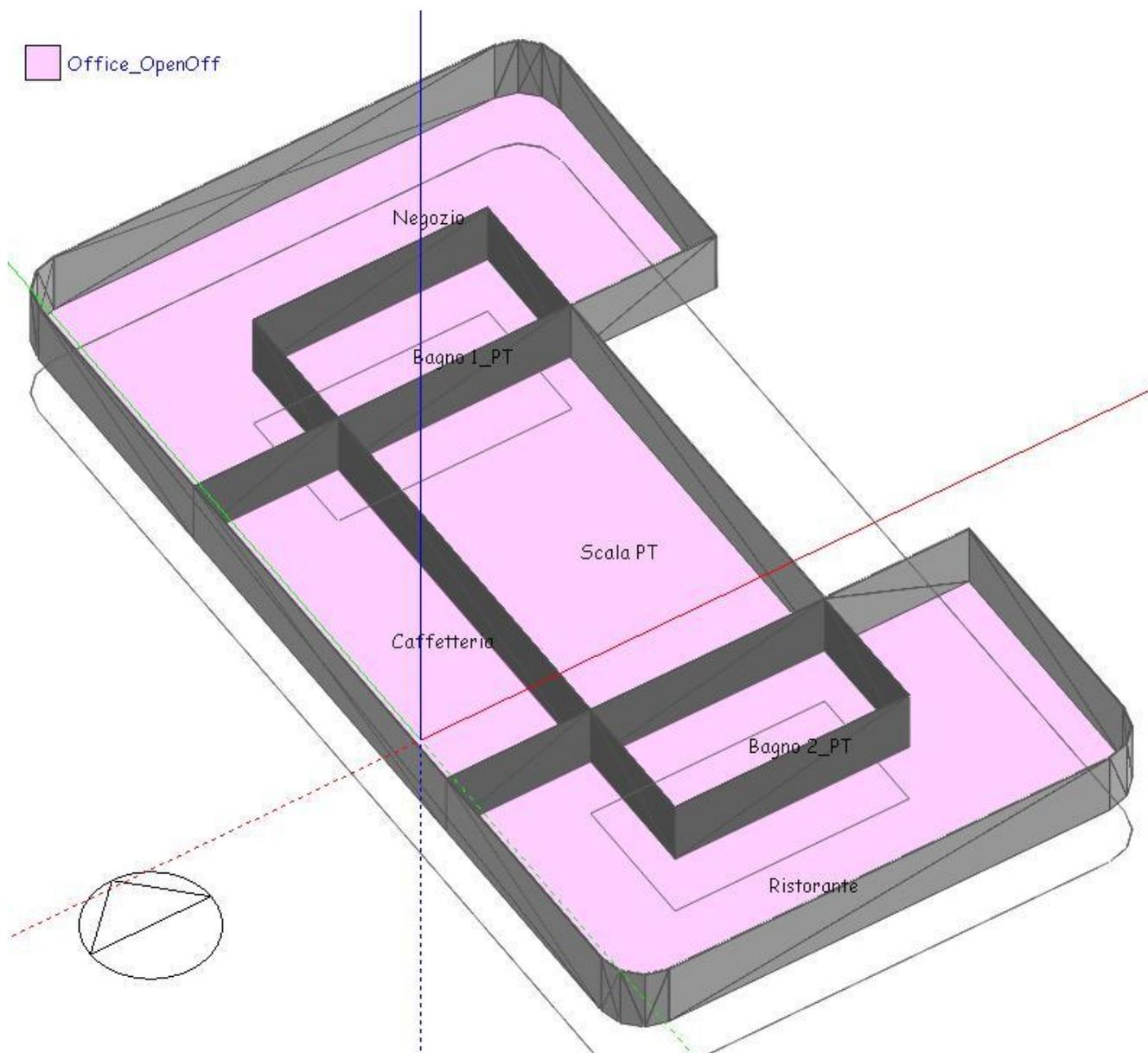


Figura 3.2.6– Vista assometrica del piano terreno.

Il piano terreno confina con un ambiente sottostante interrato non riscaldato, adibito ad autorimessa (figura 3.2.7).

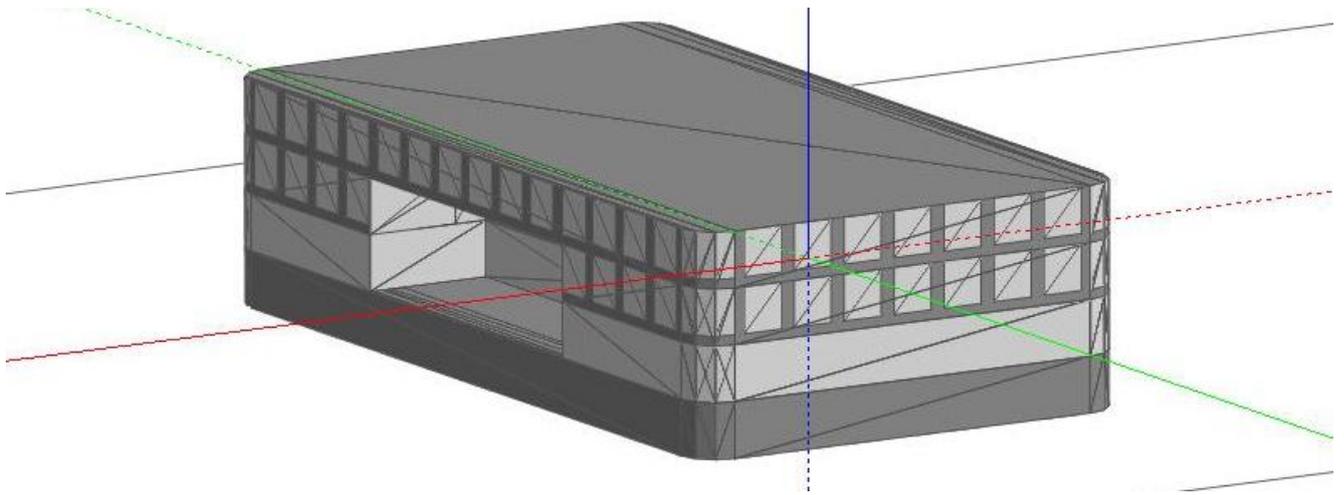


Figura 3.2.7 – Vista 3D dei piani interrato, terra, 1° e 2°.

Il piano primo si distingue dai successivi per la sola dimensione in pianta, in quanto la presenza dell'atrio vetrato di doppia altezza ne riduce le dimensioni, portando il numero di zone adibite ad ufficio a 6 (figura 3.2.8).

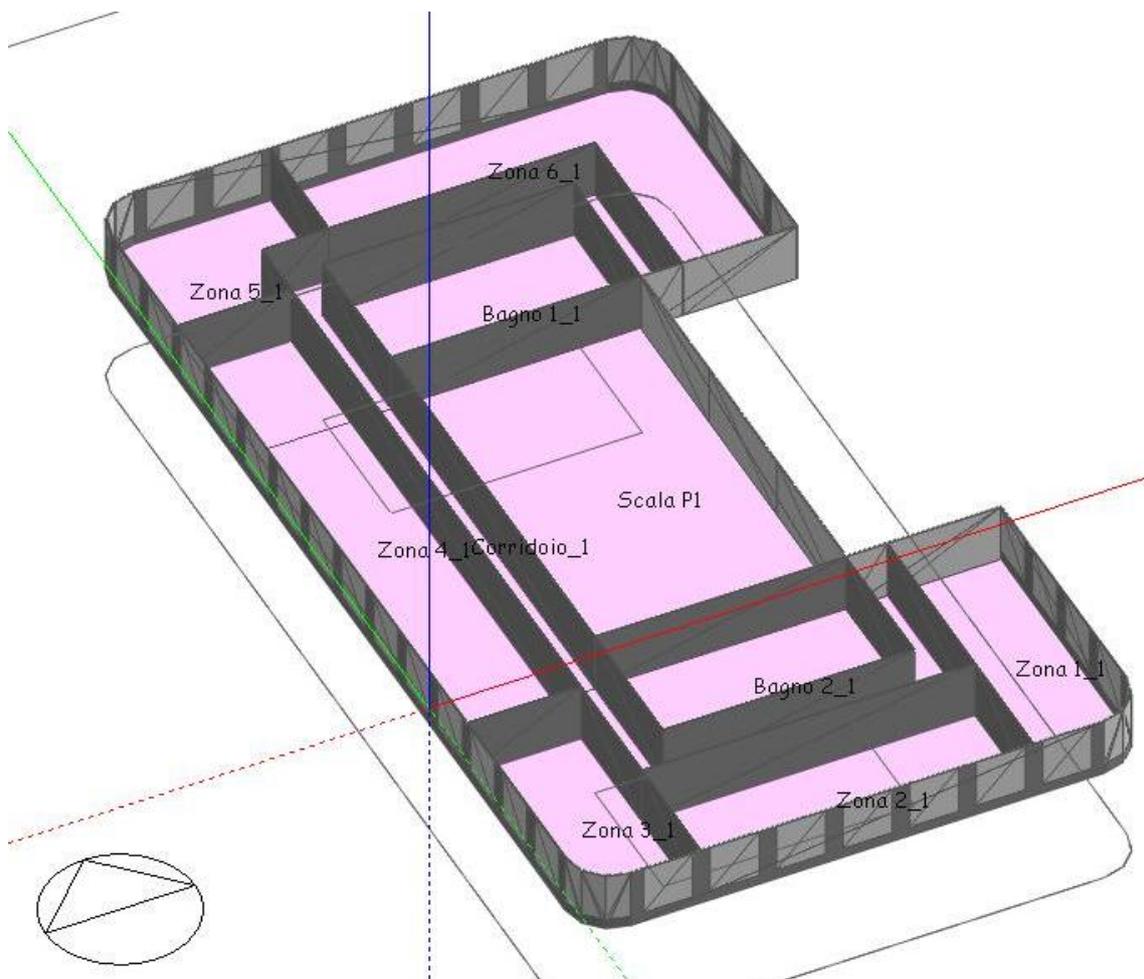


Figura 3.2.8 – Vista assometrica del 1° piano.

Il 24° piano è come detto adibito a centrale termica e per questo non facente parte della zona termica climatizzata dell'edificio. A differenza dei piani tipo, questo piano non possiede partizioni interne e presenta un involucro totalmente opaco.

In termini compositivi, la struttura della torre è costituita da travi e pilastri in cemento armato; le chiusure perimetrali verticali sono costituite da ampie vetrate intervallate da setti murari della larghezza di 0,70 m. Per gli orizzontamenti sono stati utilizzati dei pavimenti tecnici, mentre le pareti di separazione tra uffici sono della tipologia *curtain wall*. L'area centrale adibita a servizi è invece costituita da setti in muratura. La composizione stratigrafica e le caratteristiche termofisiche dei componenti utilizzati sono riportate nella tabella 3.2.2.

Le superfici trasparenti sono costituite da un vetro doppio, basso emissivo sulla seconda faccia e riempito in intercapedine con argon, mentre il serramento è in alluminio a taglio termico – trasmittanza termica pari a 2,7 W/(m²K). Alle vetrate sono associate delle schermature esterne mobili costituite da lamelle di colore chiaro inclinate di 45°, azionate in funzione della radiazione solare sulla superficie esterna del vetro: per irradianza superiore a 300 W/m², la schermatura entra in funzione. Essendo il serramento disposto a filo esterno, costituisce un sistema schermante di tipo fisso il solo oggetto presente al piano 17°, dovuto ad un aumento dell'area della soletta rispetto ai piani inferiori (figura 3.2.5). Le caratteristiche del componente vetrato sono riportate in tabella 3.2.3, mentre quelle del sistema schermante, rispettivamente in tabella 3.2.4.

Tabella 3.2.2 – Composizione stratigrafica delle strutture opache.

CHIUSURA OPACA VERTICALE							
Stratigrafia		s	ρ	c	λ	R	U
(int - est)		[m]	[kg/m ³]	[J/(kg·K)]	[W/(m·K)]	[(m ² K)/W]	[W/(m ² K)]
I	INTONACO	0,015	1800	840	0,90		0,315
II	LATERIZIO	0,08	1000	840	0,36		
III	ISOLANTE	0,11	15	1220	0,04		
IV	INTONACO	0,015	1800	840	0,90		
CHIUSURA OPACA ORIZZONTALE SUPERIORE							
Stratigrafia		s	ρ	c	λ	R	U
(int - est)		[m]	[kg/m ³]	[J/(kg·K)]	[W/(m·K)]	[(m ² K)/W]	[W/(m ² K)]
I	CALCESTRUZZO	0,30	2000	880	1,16		0,293
II	ISOLANTE	0,12	15	1220	0,04		
III	INTONACO	0,015	1800	840	0,90		
CHIUSURA OPACA ORIZZONTALE INFERIORE							
Stratigrafia		s	ρ	c	λ	R	U
(int - est)		[m]	[kg/m ³]	[J/(kg·K)]	[W/(m·K)]	[(m ² K)/W]	[W/(m ² K)]
I	FINITURA	0,015	1800	840	1,00		0,304
II	PANNELLO FIBRE DI LEGNO	0,05	2100	800	0,14		
III	INTERCAPEDINE	0,13	1	1000		0,18	
IV	ISOLANTE	0,09	15	1220	0,04		
V	CALCESTRUZZO	0,30	2000	880	1,16		
VI	INTONACO	0,015	1800	840	0,90		
PARTIZIONE VERTICALE IN MURATURA							
Stratigrafia		s	ρ	c	λ	R	U
(int - est)		[m]	[kg/m ³]	[J/(kg·K)]	[W/(m·K)]	[(m ² K)/W]	[W/(m ² K)]
I	INTONACO	0,015	1800	840	0,90		0,66
II	LATERIZIO	0,08	1000	840	0,36		

III	ISOLANTE	0,04	15	1220	0,04		
IV	INTONACO	0,015	1800	840	0,90		
PARTIZIONE VERTICALE IN GESSO							
Stratigrafia		s	ρ	c	λ	R	U
(int - est)		[m]	[kg/m ³]	[J/(kg·K)]	[W/(m·K)]	[(m ² K)/W]	[W/(m ² K)]
I	GESSO	0,025	900	1000	0,25		1,563
II	INTERCAPEDINE	0,10	1	1000	0,04	0,18	
III	GESSO	0,025	900	1000	0,25		
PARTIZIONE ORIZZONTALE							
Stratigrafia		s	ρ	c	λ	R	U
(int - est)		[m]	[kg/m ³]	[J/(kg·K)]	[W/(m·K)]	[(m ² K)/W]	[W/(m ² K)]
I	FINITURA	0,015	1800	840	1,00		0,748
II	PANNELLO FIBRE DI LEGNO	0,05	2100	800	0,14		
III	INTERCAPEDINE	0,21	1	1000		0,18	
IV	ISOLANTE	0,01	15	1220	0,04		
V	CALCESTRUZZO	0,30	2000	880	1,16		
VI	INTONACO	0,015	1800	840	0,90		

Tabella 3.2.3 – Composizione stratigrafica delle strutture trasparenti (vetro e serramento).

Stratigrafia	s	Tsol	Rsol1	Rsol2	Tvis	Rvis1	Rvis2	Tir	emis1	emis2	U	
(int - est)	[mm]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[W/(m ² K)]	
I	PLANILUX	6	0,784	0,071	0,071	0,885	0,08	0,08	0	0,837	0,837	1,8
II	ARIA	15										
III	PLANITHERM	4	0,437	0,223	0,095	0,757	0,033	0,055	0	0,103	0,837	

Tabella 3.2.4 – Caratteristiche della schermatura solare esterna.

Orientamento delle lamelle	ORIZZONTALE
Inclinazione delle lamelle	45°
Distanza tra le lamelle ed il vetro retrostante	0,100 m
Profondità delle lamelle	0,025 m
Spessore delle lamelle	0,001 m
Distanza tra le lamelle	0,0176 m
Conducibilità termica delle lamelle	0,9 W/(m·K)
Coefficiente di trasmissione solare (diretta e diffusa) delle lamelle	0
Coefficiente di riflessione solare (diretta e diffusa) delle lamelle (fronte e retro)	0,7
Coefficiente di trasmissione luminosa (diretta e diffusa) delle lamelle	0
Coefficiente di riflessione luminosa (diretta e diffusa) delle lamelle (fronte e retro)	0,7
Emissività termica delle lamelle (fronte e retro)	0,9

Costituiscono eccezione alla descrizione suddetta, i componenti vetrati del piano terreno e del primo piano. L'area commerciale dell'edificio, così come l'atrio di ingresso a doppia altezza, si distinguono dai componenti vetrati delle zone adibite ad ufficio per l'assenza di telaio (vetrata continua), e per la non adozione dei sistemi schermanti, venendo in questo modo a costituire in termini compositivi una marcata distinzione per tipologia di funzione ospitata (figura 3.2.9).



Figura 3.2.9 – Vista 3D dei piani interrato, terra, 1° e 2°: differenziazione funzionale delle finiture.

IMPIANTO DI CONDIZIONAMENTO E PRODUZIONE ACQUA CALDA SANITARIA

Gli impianti di condizionamento e di produzione di acqua calda sanitaria nell'edificio sono separati.

L'impianto di condizionamento è della tipologia a tutt'aria con portata variabile, raffreddato ad acqua, caratterizzato dal posizionamento della batteria di post-riscaldamento in ingresso alla zona termica asservita. La batteria di post-riscaldamento è di tipo elettrico. L'impianto non è munito di recuperatore di calore.

All'interno dell'edificio sono presenti tre unità di trattamento aria separate, a servizio rispettivamente del piano terreno (utenza ristorante, caffetteria e negozio), dei piani dal 1° al 16° e dei piani dal 17° al 23° (utenza uffici).

Ogni zona termica dell'edificio è munita di un termostato atto a mantenere in ambiente una temperatura dell'aria compresa tra 20 °C (temperatura di set-point invernale) e 26 °C (temperatura di set-point estiva), considerando il periodo di riscaldamento della durata imposta dalle disposizioni energetiche nazionali, come riportato dalla UNI/TS 11300-1 (si veda a tal proposito il capitolo 3.2.2 del presente lavoro).

Oltre alla temperatura dell'aria, all'interno dell'ambiente viene controllata anche l'umidità relativa, in modo tale da mantenerla durante il periodo invernale non inferiore al 50% e durante il periodo estivo non superiore al 60%.

Con riferimento alle reti aerauliche, l'efficienza totale dei ventilatori è 70%, pari al rapporto tra la potenza ceduta all'aria e la potenza elettrica assorbita dal ventilatore, in funzione alla massima potenza; l'efficienza del motore dei ventilatori è invece pari al 90%.

Con riferimento alle reti idrauliche, il controllo della pompa di circolazione dell'acqua è ad intermittenza; la pompa lavora a velocità costante; il set-point dell'acqua calda è fissato a 82 °C.

Il refrigeratore è di tipo centrifugo¹ ed è caratterizzato da un COP (coefficiente di performance) pari a 5. Il condensatore dell'impianto è ad acqua ed è associato ad una torre evaporativa.

¹ I chiller centrifughi sono le apparecchiature per il raffreddamento dell'acqua che offrono le più elevate capacità frigorifere e le migliori prestazioni per impianti di grande taglia, con un campo di potenze compreso tra 2 e 14 MW, anche se sono disponibili sul mercato gruppi più piccoli fino a 300 kW e più grandi fino a 35 MW.

Il bruciatore è a gas ed è caratterizzato da un'efficienza del 90%.

L'ACS è prodotta mediante tre bruciatori a gas, con rendimento di generazione assunto pari a 0,8, finalizzati alla sola copertura della domanda di acqua calda sanitaria, distinti rispettivamente per il piano terreno (utenza ristorante e caffetteria), i piani dal primo al sedicesimo ed i piani dal diciassettesimo al ventitreesimo (utenza uffici), secondo quanto riportato dalla UNI/TS 11300-2 (tabella 3.2.5)². Ognuno dei tre bruciatori a gas serve un serbatoio di accumulo verticale, dimensionato in modo da sopperire alla massima richiesta istantanea di ACS, calcolata secondo profili d'uso coerenti con le destinazioni dei vari ambienti (tabella 3.2.6)³. I serbatoi d'accumulo sono di tipo misto, ossia l'adduzione dell'ACS in consegna all'utenza avviene ad un unico livello del serbatoio, non sfruttando quindi la stratificazione dell'acqua all'interno del serbatoio.

Tabella 3.2.5 – Fabbisogno mensile di acqua calda sanitaria secondo UNI/TS 11300-2.

TIPO DI ATTIVITÀ	FABBISOGNO ACS (UNI/TS 11300-2)		FABBISOGNO ACS (APPLICAZIONE AL CASO STUDIO)	
	Uffici	0,2	l/(m ² G)	piani 1-16 2432 l/G
Negozi	-			
Ristoranti	10	l/G per numero di ospiti per numero di pasti	900 l/G	
Catering e self service	4	l/G per numero di ospiti per numero di pasti	160 l/G	

Tabella 3.2.6 – Profilo orario del fabbisogno mensile di acqua calda sanitaria utilizzato per le simulazioni del caso studio.

GIORNI	ORE	Uffici	Bar	Ristoranti
		[%]	[%]	[%]
Lunedì - Domenica	07:00 - 09:00	10	30	0
	09:00 - 12:00	80	10	0
	12:00 - 14:00		30	70
	14:00 - 17:00		25	0
	17:00 - 20:00	10		10
	20:00 - 22:00	0	5	20
	22:00 - 07:00	0	0	0

² La UNI/TS 11300-2 non riporta il fabbisogno di ACS in caso di caffetterie; per lo scopo del presente lavoro si è quindi assimilato il fabbisogno di tale ultima destinazione d'uso a quella di un catering/self service. Si evidenzia inoltre che ai servizi igienici è stato attribuito il medesimo fabbisogno di ACS della destinazione d'uso servita. L'indice di affollamento dei locali è stato preso dalla norma UNI 10339 (tabella 3.2.12 del presente lavoro), considerando un numero di pasti pari all'70% degli ospiti e al 30% degli ospiti rispettivamente per il ristorante e la caffetteria, per un totale giornaliero di 90 pasti per il ristorante e 40 pasti per la caffetteria.

³ I profili temporali per le diverse destinazioni d'uso sono state desunte dalla UNI/TS 11300-1 (tabella 3.2.6), ipotizzando nella fascia oraria centrale una maggiore percentuale di occupazione dei locali, ed assumendo per le fasce precedente e successiva una percentuale ridotta. Il dimensionamento dei serbatoi è quindi stato condotto considerando di dover sopperire istantaneamente alla massima percentuale giornaliera di ACS per ogni destinazione d'uso: risulta quindi che i serbatoi di accumulo per ACS siano di 0,7 m³ per il piano terreno (caffetteria e ristorante), di 2 m³ per i piani dal 1° al 16° e di 0,4 m³ per i piani dal 17° al 23°.

L'ACS è prodotta a 40 °C, l'adduzione avviene direttamente dall'ente erogatore e l'acqua dell'acquedotto si considera ad una temperatura di 15 °C (salto termico pari a 25 °C).

I bruciatori sono posizionati all'interno di ambienti destinati a centrale termica, e per questo motivo si considerano come recuperabili le dispersioni termiche dei suddetti, attraverso una riduzione delle dispersioni termiche delle zone dell'edificio riscaldate durante il periodo invernale, verso gli ambienti adibiti a centrale termica.

Il sistema di controllo dei bruciatori è di tipo ciclico, ossia il bruciatore è acceso alla massima potenza nel caso in cui vi sia la necessità di condurre l'acqua del serbatoio alla temperatura di set-point; il bruciatore è spento in tutti gli altri casi, ossia quando la temperatura dell'acqua all'interno del serbatoio risulta superiore alla temperatura di accensione, corrispondente alla temperatura di set-point ridotta di una differenza di temperatura pari all'estensione della banda morta. Nel caso specifico temperatura di set-point e di accensione coincidono, ed il bruciatore si accende ogni qual volta la temperatura dell'acqua nel serbatoio risulta inferiore a 40 °C.

Il bruciatore è inoltre munito di un sensore di sicurezza atto allo spegnimento dell'impianto nel caso la temperatura raggiunta dall'acqua nel serbatoio superi un valore limite, stabilito dal costruttore, e nel caso specifico pari a 83 °C.

Gli ausiliari dell'impianto sono di tipo elettrico; di questi si considera inoltre che l'80% del loro consumo energetico possa essere utilizzato dal serbatoio di accumulo come energia termica recuperata.

3.2.2 Simulazione del caso studio (EnergyPlus)

Per la simulazione dinamica della torre è stato utilizzato il programma *EnergyPlus*, versione 3.1.0.

L'edificio è stato modellato in prima istanza con il programma Design Builder, ed in seguito esportato in *EnergyPlus* per l'inserimento dei dati riferiti alla località ed all'utenza.

DATI CLIMATICI

La simulazione è stata condotta sull'intero anno, distinguendo un periodo di tempo di riscaldamento e di raffrescamento, rispettivamente:

- della durata per legge, come riportato dalla UNI/TS 11300-1 per il riscaldamento, ossia
 - Torino → dal 15 ottobre al 15 aprile
 - Palermo → dal 1° dicembre al 31 marzo;
- della effettiva durata, per il raffrescamento.

A tal proposito, per la regolazione della temperatura ambiente delle zone termiche, si è utilizzato un termostato *dual set point* con *dead band*, definendo la temperatura in ambiente interno a 20 °C per il periodi di riscaldamento, e di 26 °C per il periodo di raffrescamento.

Le simulazioni sono state condotte per due città italiane, rispettivamente al Nord (Torino) ed al Sud (Palermo), al fine di evidenziare possibili errori di valutazione del modello di calcolo semplificato proposto dalla UNI/TS 11300.1, in funzione delle diverse località climatiche. In tabella 3.2.7 si riassumono i principali dati geografici delle due località.

Tabella 3.2.7 – Dati geografici delle località città utilizzate per le simulazioni.

CITTA'	LATITUDINE	LONGITUDINE	ZONA ALTIMETRICA	GRADI GIORNO	ZONA CLIMATICA
TORINO	45°4'41"16 N	07°40'33"96 E	pianura	2617	E
PALERMO	38°6'43"56 N	13°20'11"76 E	pianura	751	B

Per la simulazione annuale dell'edificio, si è fatto uso dei dati climatici forniti dal sito internet www.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather_data.cfm, di supporto alla simulazione. I medesimi dati, con riferimento alla temperatura dell'aria esterna e dell'irradianza solare per varie esposizioni, medie mensili, sono in seguito stati utilizzati per il calcolo in applicazione alla UNI TS 11300, al fine di utilizzare le medesime condizioni climatiche al contorno. Nelle figure 3.2.10 e 3.2.11 si riportano per Torino e Palermo, i dati utilizzati.

NB: Nel caso di valutazione semplificata, i dati climatici devono essere reperiti dalla norma UNI 10349. All'interno della medesima, si considera un unico valore indistinto, per esposizioni Est/Ovest, Sud-Est/Sud-Ovest e Nord-Est/Nord-Ovest; come si può osservare dalle seguenti tabelle 3.2.8 e 3.2.9, tale semplificazione può portare ad errori di valutazione, seppur dai limitati margini.

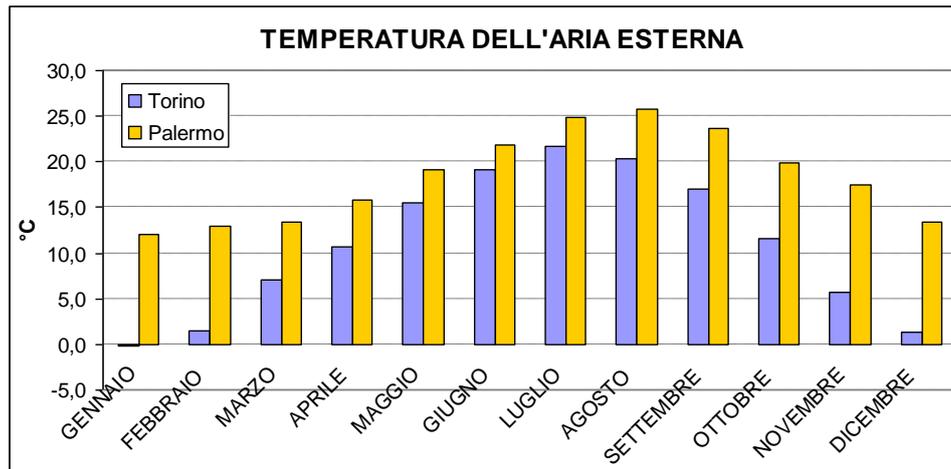


Figura 3.2.10 – Temperatura media mensile dell'aria esterna, città di Torino e Palermo.

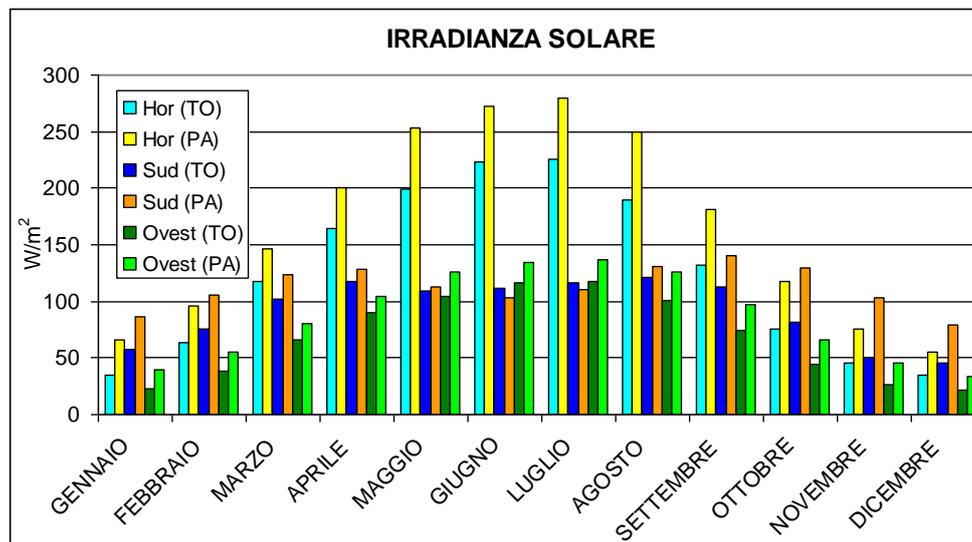


Figura 3.2.11 – Irradianza solare totale media mensile per differenti esposizioni, città di Torino e Palermo.

Tabella 3.2.8 – Dati climatici di Torino, utilizzati per le simulazioni.

		MESE											
		GENNAIO	FEBBRAIO	MARZO	APRILE	MAGGIO	GIUGNO	LUGLIO	AGOSTO	SETTEMBRE	OTTOBRE	NOVEMBRE	DICEMBRE
IRRADIANZA SOLARE TOTALE GIORNALIERA MEDIA MENSILE I_{sol} [W/m ²]	Θ_{ae} [°C]	-0,2	1,5	7,0	10,7	15,5	19,1	21,7	20,4	17,0	11,6	5,7	1,4
	<i>H</i>	34,2	63,2	117,1	164,5	199,4	223,1	225,8	189,2	131,8	76,1	45,4	34,5
	<i>N</i>	12,7	22,9	42,5	54,8	63,8	72,2	67,8	57,7	43,8	28,1	19,5	14,7
	<i>NE</i>	12,9	24,3	47,1	65,8	80,8	92,1	89,7	73,3	50,7	29,9	19,7	14,8
	<i>NO</i>	12,9	24,2	47,2	65,8	80,6	92,2	89,8	73,3	50,7	29,8	19,7	14,8
	<i>E</i>	22,6	38,2	66,0	90,5	104,7	116,3	117,7	101,2	74,2	44,4	26,6	21,1
	<i>O</i>	22,5	38,1	66,3	90,4	104,5	116,4	117,9	101,2	74,3	44,1	26,6	21,1
	<i>SE</i>	45,1	61,8	89,2	110,1	113,2	120,1	124,3	118,2	99,5	67,5	41,9	36,9
	<i>SO</i>	44,9	61,7	89,4	110,0	113,0	120,2	124,4	118,2	99,7	67,1	41,9	36,8
<i>S</i>	58,2	76,1	102,3	117,6	109,7	111,8	116,8	121,4	113,1	81,2	50,9	46,0	

Tabella 3.2.9 – Dati climatici di Palermo, utilizzati per le simulazioni.

		MESE											
		GENNAIO	FEBBRAIO	MARZO	APRILE	MAGGIO	GIUGNO	LUGLIO	AGOSTO	SETTEMBRE	OTTOBRE	NOVEMBRE	DICEMBRE
IRRADIANZA SOLARE TOTALE GIORNALIERA MEDIA MENSILE I_{sol} [W/m ²]	Θ_{ae} [°C]	12,1	13,0	13,4	15,8	19,2	21,9	24,8	25,8	23,7	19,9	17,5	13,4
	<i>H</i>	66,1	95,7	146,9	199,8	253,1	272,9	279,3	249,1	181,6	117,2	75,1	55,6
	<i>N</i>	24,1	32,7	43,9	50,8	62,7	70,6	65,4	56,2	45,6	31,1	23,7	20,1
	<i>NE</i>	24,8	35,0	52,1	70,3	93,4	104,2	101,9	85,8	60,2	36,6	25,2	20,5
	<i>NO</i>	24,8	35,0	52,4	70,1	93,3	104,2	102,0	86,0	60,2	36,4	25,1	20,5
	<i>E</i>	39,6	55,2	80,0	105,1	126,6	134,0	137,2	125,8	97,1	67,1	45,2	33,7
	<i>O</i>	39,4	55,3	80,6	104,7	126,3	134,1	137,3	126,2	97,1	66,6	45,1	33,8
	<i>SE</i>	68,6	86,3	108,1	124,8	128,4	126,9	133,8	138,5	127,2	106,3	81,0	62,0
	<i>SO</i>	68,4	86,5	108,7	124,4	128,2	126,9	133,9	138,9	127,1	105,8	80,8	62,1
<i>S</i>	86,1	105,5	123,6	128,0	112,3	102,7	110,6	131,1	140,5	129,6	102,8	79,1	

APPORTI INTERNI

L'entità degli apporti interni è stata definita in funzione della destinazione d'uso dei singoli locali. Essendo lo scopo finale la valutazione del fabbisogno energetico dell'edificio presupponendo un'utenza standard (così come prescritto ai fini della certificazione energetica), il valore degli apporti interni è stato desunto dal prospetto 8 della norma UNI/TS 11300-1, il quale fornisce gli apporti medi globali $[W/m^2]$ relativi all'utenza per le varie destinazioni d'uso, secondo il D.P.R. 412/93. Tali valori possono essere utilizzati come valore medio in un calcolo semplificato su base mensile; in caso di simulazione dinamica è invece possibile desumere da tale valore medio mensile, un profilo orario settimanale.

In tabella 3.2.10 si riporta il valore medio globale ed il profilo orario settimanale del carico termico sensibile in ambiente, utilizzati rispettivamente in caso di valutazione semplificata secondo normativa tecnica, ed in caso di simulazione dettagliata con *EnergyPlus*.

Tabella 3.2.10 – Profili temporali e medi degli apporti termici sensibili (occupanti ed apparecchiature).

GIORNI	ORE	CATEGORIA E.2	CATEGORIA E.4(3)	CATEGORIA E.5
		D.P.R. 412/93	D.P.R. 412/93	D.P.R. 412/93
		Uffici e assimilabili	Bar, ristoranti	Attività commerciali
		$[W/m^2]$	$[W/m^2]$	$[W/m^2]$
Lunedì - Venerdì	07:00 - 17:00	16	16,9	15
	17:00 - 20:00	1,3	16,9	15
	20:00 - 22:00	1,3	16,9	1,3
	22:00 - 07:00	1,3	1,3	1,3
Media		8	11,7	9,3
Sabato	07:00 - 17:00	1,3	16,9	15
	17:00 - 20:00	1,3	16,9	15
	20:00 - 22:00	1,3	16,9	1,3
	22:00 - 07:00	1,3	1,3	1,3
Domenica	07:00 - 24:00	1,3	1,3	1,3
Media		1,3	6,5	5,3
Media annuale (profilo temporale)		6	10	8
Media mensile (UNI/TS 11300-1)		6	10	8

Della quota sensibile definita in tabella 3.2.10, il 50% è stato considerato radiante, ed il rimanente 50% convettivo.

Con riferimento al carico di tipo latente, questo è stato preso in considerazione nella sola simulazione dinamica. La frazione latente di potenza termica ceduta dal corpo umano è data in tabella 3.2.11 a seconda della temperatura invernale ed estiva di progetto, per attività d'ufficio e per lavoro leggero, utilizzata questa ultima per la simulazione del piano terreno, che si ricorda essere adibito ad attività commerciale. Per definire l'entità di tale carico latente per ogni zona termica nel quale è suddiviso l'edificio, si sono considerati gli indici di affollamento riportati all'interno della norma UNI 10339, e di questi se ne è considerato il 60% (tabella 3.2.12), coerentemente con quanto predisposto dalla norma UNI/TS 11300-1.

Tabella 3.2.11 – Potenza termica latente ceduta dal corpo umano.

Attività	TEMPERATURA AMBIENTE	
	Invernale	Estiva
	20 °C	26 °C
Lavoro in ufficio	40 W	70 W
Lavoro leggero	105 W	155 W

Tabella 3.2.12 – Indici di affollamento secondo UNI 10339.

CATEGORIA E.2 D.P.R. 412/93	CATEGORIA E.4(3) D.P.R. 412/93	CATEGORIA E.5 D.P.R. 412/93
Uffici e assimilabili	Bar, ristoranti	Attività commerciali
open-space: 0,12 persone/m ²	bar: 0,80 persone/m ²	0,10 persone/m ²
	ristoranti: 0,60 persone/m ²	

Per le zone adibite a servizi igienici e per i corridoi di servizio dei piani uffici, si è considerato il solo carico sensibile, coerentemente con i valori riportati in tabella 3.2.10.

Coerentemente con quanto riportato al paragrafo 13.2 della norma UNI/TS 11300-1, gli apporti interni all'interno degli ambienti non climatizzati sono stati considerati nulli; per questo motivo della zona centrale di ogni piano adibita a scale ed ascensori, così come del piano 24° adibito a centrale termica, non sono stati considerati apporti di calore interni.

VENTILAZIONE

In caso di valutazione di tipo standard del fabbisogno energetico di edifici differenti da quelli residenziali, la norma UNI/TS 11300-1 specifica di assumere i tassi di ricambio d'aria riportati nella UNI 10339, considerando gli indici di affollamento pari al 60% di quelli riportati nella suddetta norma ai fini della determinazione della portata di progetto. La tabella 3.2.13 riporta la portata specifica di aria esterna per unità di superficie, per le destinazioni d'uso considerate.

Con riferimento ai piani dal 1° al 23°, interamente adibiti ad uffici, questi si sono assimilati ad open-space, considerando un ricambio d'aria uguale per ogni zona termica, compresi i corridoi, mentre nei due servizi igienici è effettuata l'estrazione dell'aria.

Il piano terreno è invece caratterizzato da differenti portate d'aria in funzione delle varie destinazioni d'uso che ospita: con riferimento alla caffetteria ed al ristorante, si ipotizza l'intera superficie come adibita alla ristorazione, non considerando eventuali servizi igienici.

Il vano scale così come il 24° piano, non condizionati, non sono soggetti a ricambi d'aria.

Tabella 3.2.13 – Tassi di ricambio d'aria secondo UNI 10339.

CATEGORIA E.2 D.P.R. 412/93	CATEGORIA E.4(3) D.P.R. 412/93	CATEGORIA E.5 D.P.R. 412/93
Uffici e assimilabili	Bar, ristoranti	Attività commerciali
open-space: $11 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ per persona	$11 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ per persona	$11,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ per persona
servizi: estrazione 8 vol/h	servizi: estrazione 8 vol/h	-

Quanto appena proposto è stato paragonato a quanto riportato dalla norma UNI EN 15251:2008. La norma UNI EN 15251 – sui criteri per la progettazione dell'ambiente interno e per la valutazione della prestazione energetica degli edifici, in relazione alla qualità dell'aria interna, all'ambiente termico, all'illuminazione e all'acustica – in termini di qualità dell'aria e di ventilazione per edifici non residenziali stabilisce che durante le ore di utilizzo dell'edificio, il tasso di ventilazione per un calcolo di fabbisogno energetico dovrebbe essere preso pari a quello utilizzato per il dimensionamento dell'impianto; inoltre per garantire la salubrità dell'aria sin dalle prime ore di utilizzo dell'edificio, è necessario garantire anche durante le ore precedenti un apporto minimo di ventilazione. In questo modo è quindi necessario definire due portate, una per le ore di utilizzo dell'edificio e l'altra per le ore di non utilizzo del medesimo.

Secondo la norma UNI EN 15251 (Allegato B), è possibile distinguere un tasso di ventilazione richiesto per la diluizione degli inquinanti prodotti dalla presenza di persone in ambiente, da un tasso di ventilazione necessario a ridurre gli inquinanti prodotti in ambiente interno dall'utilizzo di macchinari:

- con riferimento al flusso d'aria da garantire per la presenza di persone, risulta necessario fornire 10 l/s per persona, al fine di ottenere una percentuale di insoddisfatti pari al 15%;
- con riferimento al flusso d'aria da garantire per la produzione di inquinanti in ambiente da riferire all'utilizzo di macchinari, risulta necessario fornire 1 l/s per metro quadro di superficie (si è considerato un ambiente a media produzione di inquinanti).

Ne deriva che il tasso totale di ventilazione:

- durante le ore di occupazione è pari alla somma delle portate derivanti dai punti a. e b. dell'elenco precedente;
- durante le ore di non occupazione, la norma stabilisce di considerare $0,1 - 0,2 \text{ l}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$.

Secondo lo schema di esempio riportato in tabella B.2 della predetta norma, si ottiene quanto riportato in tabella 3.2.14.

Tabella 3.2.14 – Tassi di ricambio d'aria secondo UNI EN 15251.

GIORNI	ORE	CATEGORIA E.2 D.P.R. 412/93	CATEGORIA E.4(3) D.P.R. 412/93	CATEGORIA E.5 D.P.R. 412/93
		Uffici e assimilabili	Bar, ristoranti	Attività commerciali
		[l/(s·m ²)]	[l/(s·m ²)]	[l/(s·m ²)]
Lunedì - Venerdì	07:00 - 17:00	1,7	8	4,1
	17:00 - 20:00	0,2	8	4,1
	20:00 - 22:00	0,2	8	0,2
	22:00 - 07:00	0,2	0,2	0,2
Media		0,9	5,4	2,5
Sabato	07:00 - 17:00	0,2	8	4,1
	17:00 - 20:00	0,2	8	4,1
	20:00 - 22:00	0,2	8	0,2
	22:00 - 07:00	0,2	0,2	0,2
Domenica	07:00 - 24:00	0,2	0,2	0,2
Media		0,2	4,6	2,1
Media annuale		0,7	4,6	2,1

Riassumendo, per le simulazioni condotte si sono considerati i profili di occupazione e gli indici di affollamento ai quali la norma UNI/TS 11300-1 fa riferimento; per valutare l'effettivo tasso di ricambio d'aria distinto per destinazione d'uso e periodo di utilizzo degli ambienti, si è fatto riferimento alla norma UNI EN 15251. I dati così ottenuti (tabella 3.2.14) sono stati implementati all'interno del software di simulazione. Durante le ore di occupazione dell'edificio, il ricambio d'aria avviene attraverso l'utilizzo dell'impianto di ventilazione meccanica, mentre per le restanti ore i tassi di ricambio dell'aria si considera avvengano per infiltrazione di aria proveniente direttamente dall'esterno, quindi non trattata e per questo valutata come termine del bilancio ai fini della determinazione del fabbisogno di energia termica utile, secondo UNI/TS 11300-1.

La ventilazione meccanica si considera di tipo misto, con immissione ed estrazione in ogni ambiente.

RISULTATI DELLE SIMULAZIONI

Di seguito si riportano i valori mensili del fabbisogno di energia termica per il riscaldamento ed il raffrescamento per le città di Torino e di Palermo, valutati sia in presenza, sia in assenza di schermature solari (tabelle da 3.2.15 a 3.2.18). L'inserimento delle schermature solari comporta un aumento del fabbisogno termico per il riscaldamento –riduzione degli apporti solari gratuiti in ambiente – ma ancor più una forte riduzione (valori ridotti di un terzo circa) del fabbisogno termico estivo, sia per la città di Torino, sia per la città di Palermo. Il confronto è stato fatto per ogni città considerando il fabbisogno termico mensile totale dell'edificio (figure 3.2.12 - 3.2.15).

Come è possibile notare, la riduzione del fabbisogno di energia termica dovuta all'utilizzo di schermature solari, è tanto più ingente quanto più le condizioni climatiche esterne ne richiedono un utilizzo. Questo significa che quanto più la zona climatica risulta caratterizzata da temperature annuali miti ed elevata irradianza solare, tanto più è necessario che il modello di valutazione semplificata (UNI/TS 11300) consideri correttamente l'influenza delle schermature solari.

Si ricorda infine che l'edificio considerato è dotato di impianto centralizzato atto al riscaldamento ed al raffrescamento ambiente, nonché al trattamento dell'aria durante le ore di utilizzo dello stabile; per questo motivo i risultati riportati nelle successive figure (3.2.12 – 3.2.15) e tabelle (3.2.15 – 3.2.18) considerano come carico di ventilazione la sola quota dovuta alle infiltrazioni, durante i giorni e le ore di non utilizzo dell'edificio (tabella 3.2.14).

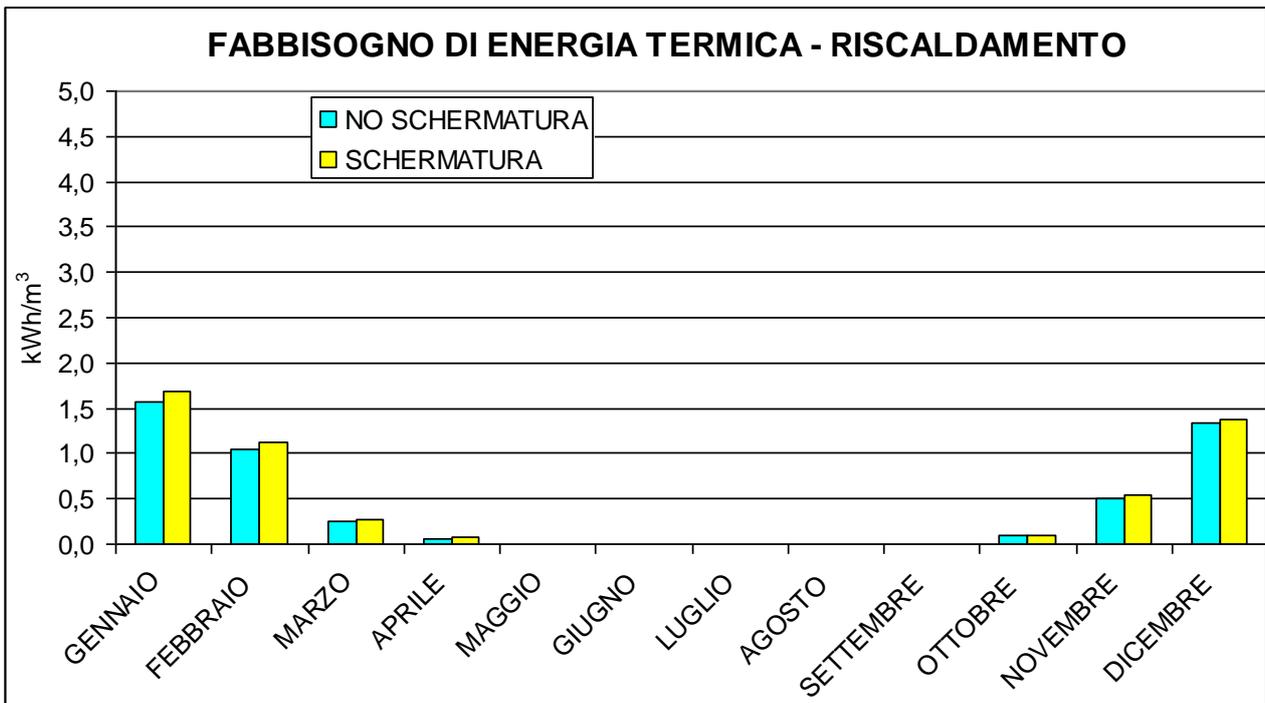


Figura 3.2.12 – Fabbisogno di energia termica per il riscaldamento, in presenza ed in assenza di schermature solari, per la città di Torino.

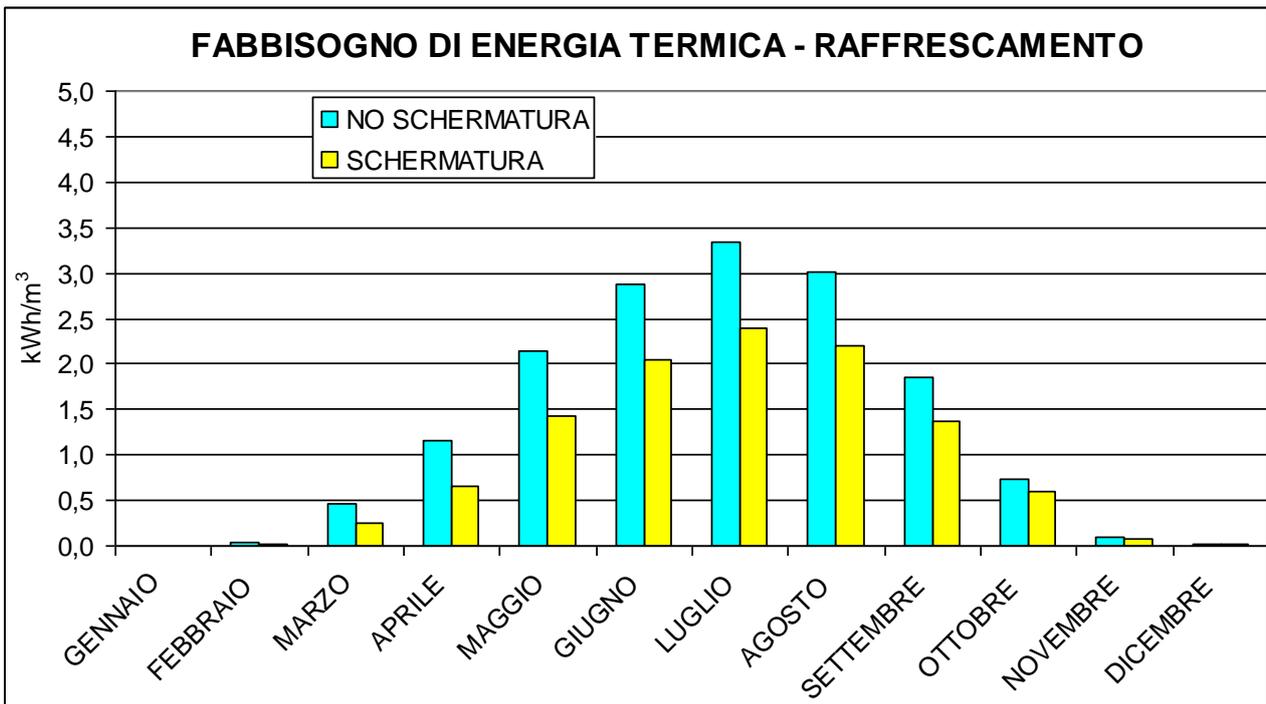


Figura 3.2.13 – Fabbisogno di energia termica per il raffrescamento, in presenza ed in assenza di schermature solari, per la città di Torino.

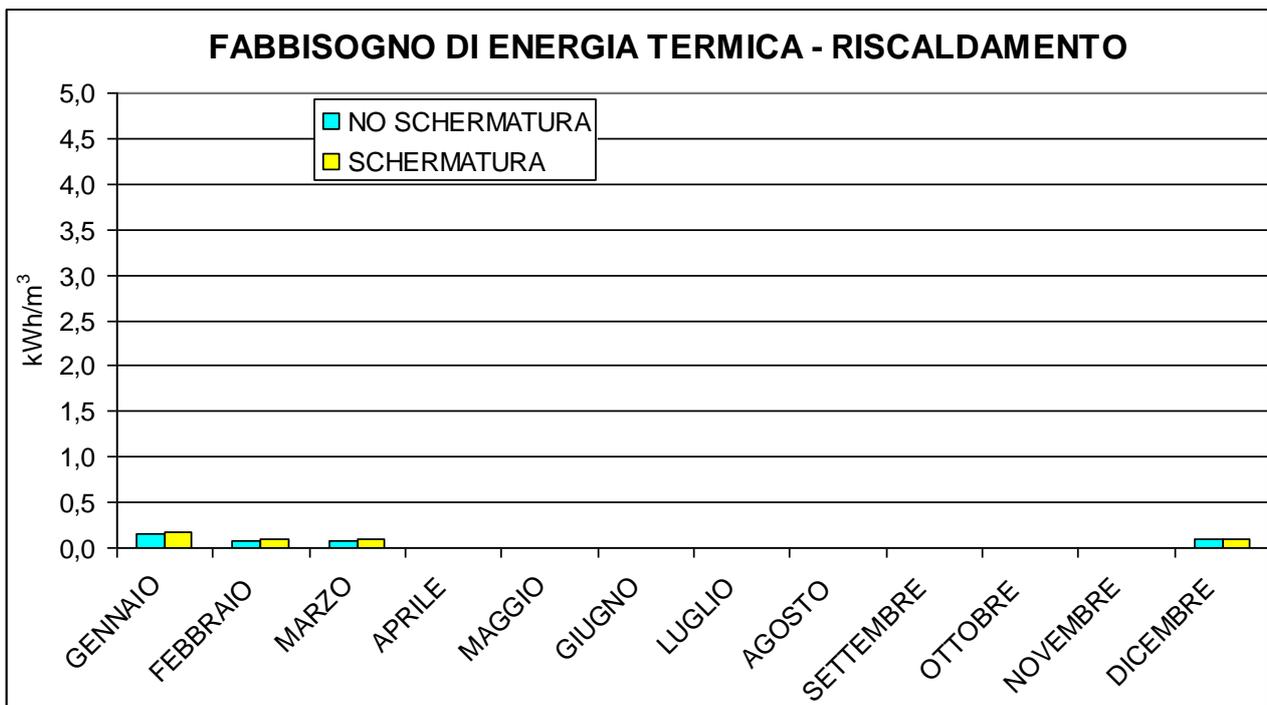


Figura 3.2.14 – Fabbisogno di energia termica per il riscaldamento, in presenza ed in assenza di schermature solari, per la città di Palermo.

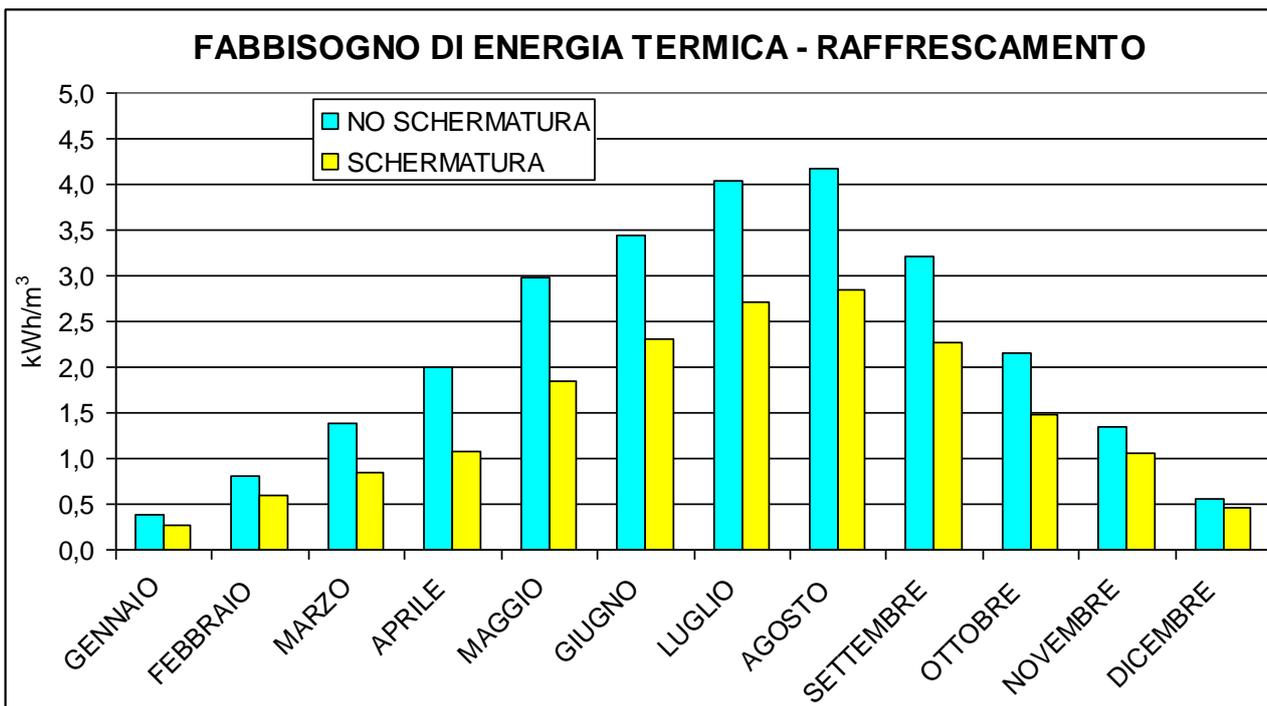


Figura 3.2.15 – Fabbisogno di energia termica per il raffrescamento, in presenza ed in assenza di schermature solari, per la città di Palermo.

Tabella 3.2.17 – Fabbisogno termico utile di riscaldamento $Q_{H,nd}$ e di raffrescamento $Q_{C,nd}$ per singola zona termica e totale in presenza di schermature esterne, per la città di Palermo.

		ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3	ZONA 4	ZONA 5	ZONA 6	ZONA 7	CORRIDOIO	BAGNO 1	BAGNO 2	SCALE	TOT
$Q_{H,nd}$	kWh	1049	1775	1459	4543	2830	3528	3271	3352	1576	1576	0	24959
	kWh/m ³	0,5	0,4	0,5	0,5	0,7	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0	0,5
	kWh/m ²	1,3	1,2	1,4	1,5	2,1	1,5	1,3	1,1	1,2	1,2	0	1,4
$Q_{C,nd}$	kWh	47541	78660	62230	151136	69584	117107	132812	135937	44719	44722	0	884446
	kWh/m ³	21,1	17,9	20,1	17,8	18,0	17,6	18,6	14,8	11,5	11,5	0	16,7
	kWh/m ²	61,2	51,9	58,4	51,6	52,2	50,9	54,0	43,0	33,4	33,4	0	48,5

Tabella 3.2.18 – Fabbisogno termico utile di riscaldamento $Q_{H,nd}$ e di raffrescamento $Q_{C,nd}$ per singola zona termica e totale in assenza di schermature esterne, per la città di Palermo.

		ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3	ZONA 4	ZONA 5	ZONA 6	ZONA 7	CORRIDOIO	BAGNO 1	BAGNO 2	SCALE	TOT
$Q_{H,nd}$	kWh	702	1131	1056	4207	2702	3368	3014	3016	1533	1533	0	22261
	kWh/m ³	0,3	0,3	0,3	0,5	0,7	0,5	0,4	0,3	0,4	0,4	0	0,4
	kWh/m ²	0,9	0,7	1,0	1,4	2,0	1,5	1,2	1,0	1,1	1,1	0	1,2
$Q_{C,nd}$	kWh	106249	158802	122751	244540	96074	153520	220582	175123	46377	46398	0	1370416
	kWh/m ³	47,1	36,1	39,7	28,8	24,9	23,0	30,9	19,1	11,9	11,9	0	25,9
	kWh/m ²	136,7	104,7	115,3	83,4	72,1	66,8	89,7	55,4	34,6	34,6	0	75,2

		RIST+BAGNO2	CAFFETTERIA	NEG+BAGNO1									TOT
$Q_{H,nd}$	kWh	0	0	2									2
	kWh/m ³	0,0	0	0,0									0,0
	kWh/m ²	0,0	0	0,0									0,0
$Q_{C,nd}$	kWh	43019	18009	27250									88278
	kWh/m ³	53,8	0,0	34,1									46,2
	kWh/m ²	155,9	0,0	98,7									134,0

Di seguito (figure 3.2.16 – 3.2.19, tabelle 3.2.19 e 3.2.20) si riportano i fabbisogni di energia primaria per riscaldamento e raffrescamento dell'edificio, ottenuti associando al fabbisogno termico (figure 3.2.12 – 3.2.15) l'impianto di condizionamento presentato al precedente capitolo 3.2.1. Le figure riportano per ogni mese il fabbisogno di energia primaria in kWh/m³, in assenza ed in presenza di schermature solari (per ogni mese, la prima barra dai colori più tenui rappresenta il caso di assenza di schermature solari, la seconda barra dai colori più accesi, il caso di utilizzo degli schermi). Ogni barra dell'istogramma riporta in colore differente, sia nel caso si considerino le schermature solari sia nel caso di assenza delle medesime, la quota parte di fabbisogno riferita al sistema edificio (fabbisogno netto) e la quota parte riferita al sistema impianto (perdite impiantistiche e trattamenti dell'aria).

Dai risultati è possibile osservare che il fabbisogno di energia dell'edificio è da associare in prima istanza al sistema impiantistico, sia in caso di riscaldamento sia in caso di raffrescamento dell'edificio, indipendentemente dalle condizioni climatiche esterne (città di Torino o Palermo).

La presenza di schermature solari comporta durante il periodo di riscaldamento, un incremento del fabbisogno termico, come già osservato precedentemente, sebbene non rilevante; nel caso di Torino, si riscontra una riduzione del fabbisogno energetico da riferire al sistema impiantistico in particolare nei mesi di novembre e dicembre, tale riduzione non supera comunque gli 0,5 kWh/m³. Considerando invece il fabbisogno di raffrescamento sia per la città di Torino sia per Palermo, l'utilizzo di schermature solari non solo riduce il fabbisogno termico, ma comporta anche una sostanziale riduzione dei consumi energetici riferiti all'utilizzo dell'impianto di condizionamento, i quali, in particolare nel caso di Palermo, tendono quasi a ridursi della metà.

Con riferimento al fabbisogno energetico per la produzione di acqua calda sanitaria, il consumo mensile si aggira attorno a 0,07 kWh/m³, per un totale di circa 0,82 kWh/m³ annuo.

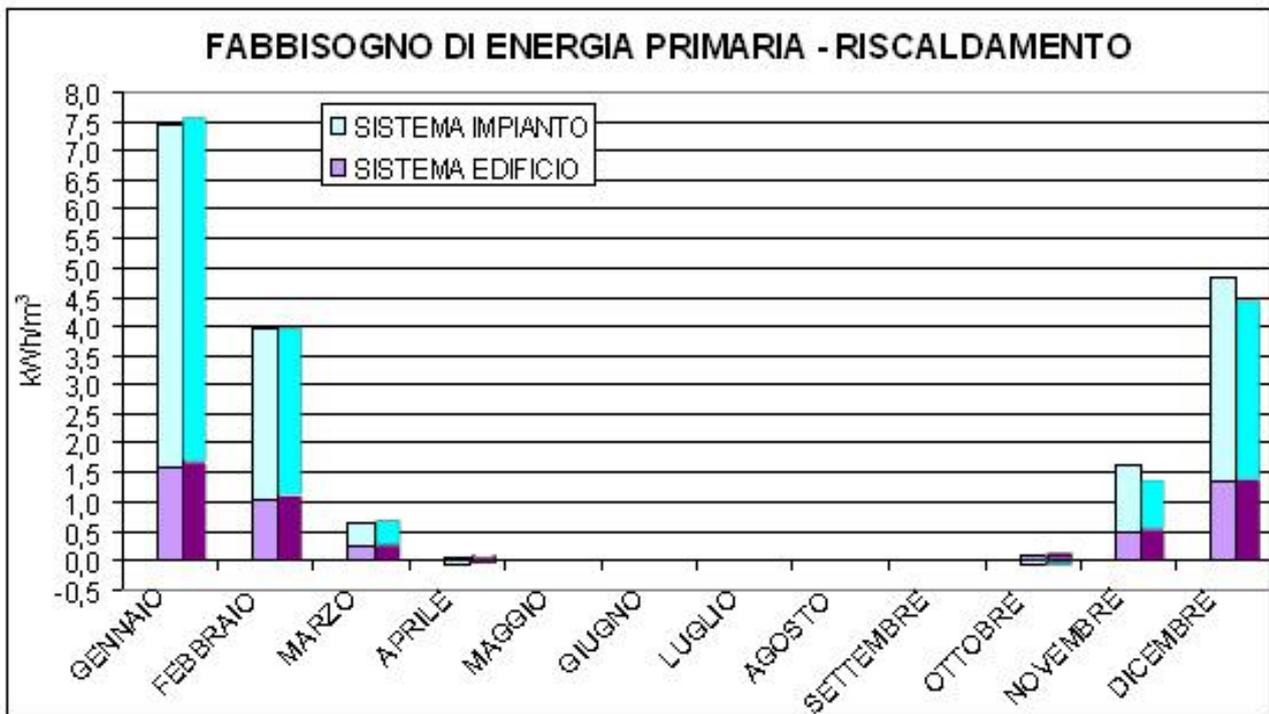


Figura 3.2.16 – Fabbisogno di energia primaria per il riscaldamento, in presenza ed in assenza di schermature solari, per la città di Torino.

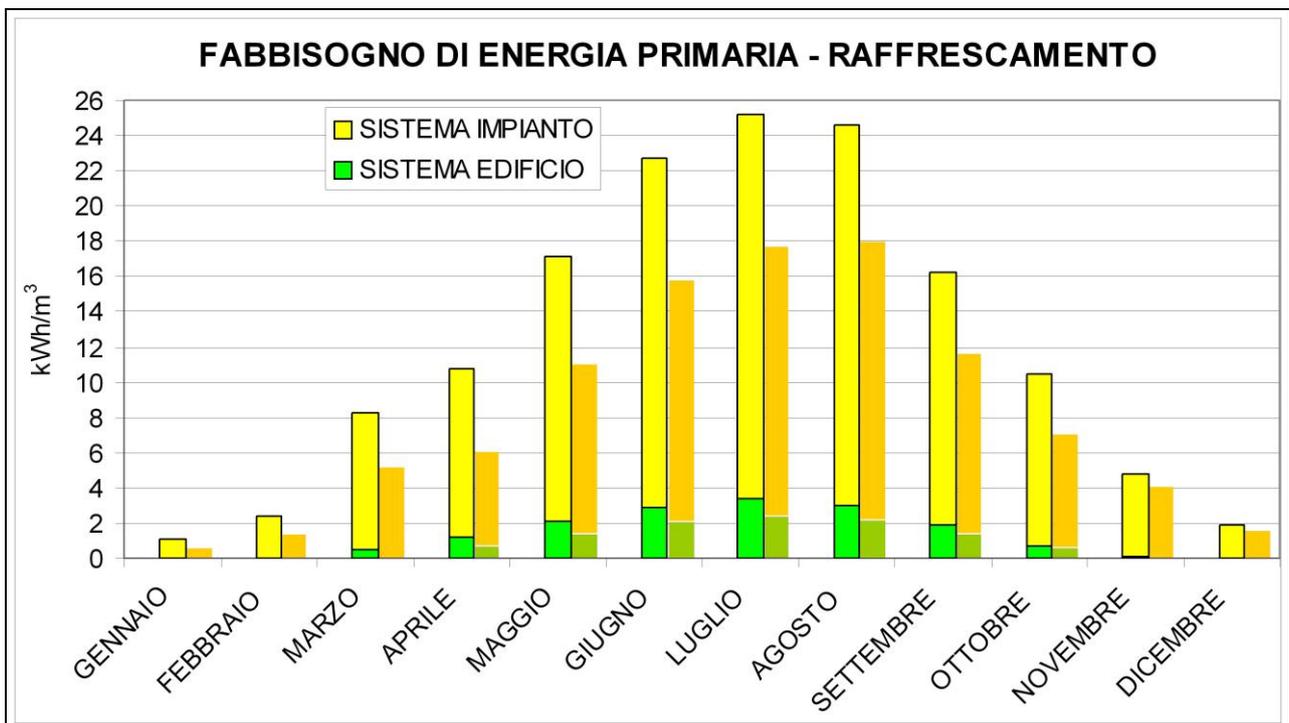


Figura 3.2.17 – Fabbisogno di energia primaria per il raffrescamento, in presenza ed in assenza di schermature solari, per la città di Torino.

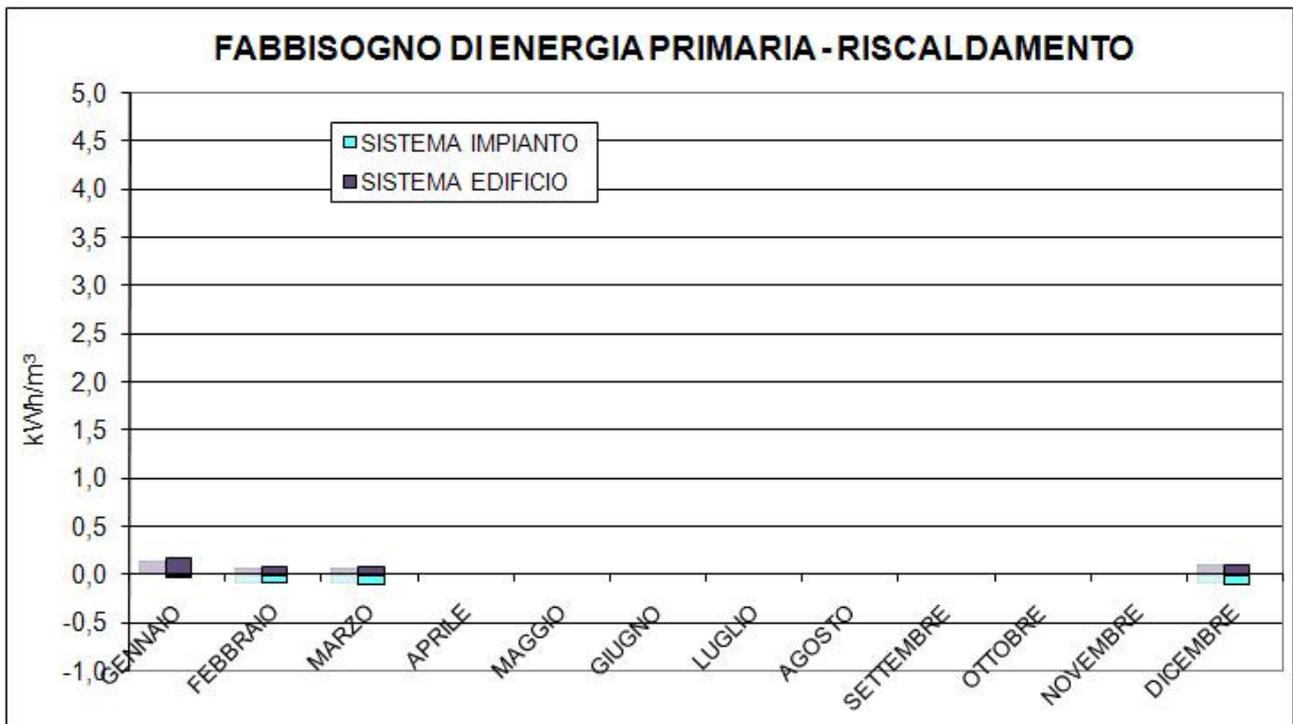


Figura 3.2.18 – Fabbisogno di energia primaria per il riscaldamento, in presenza ed in assenza di schermature solari, per la città di Palermo.

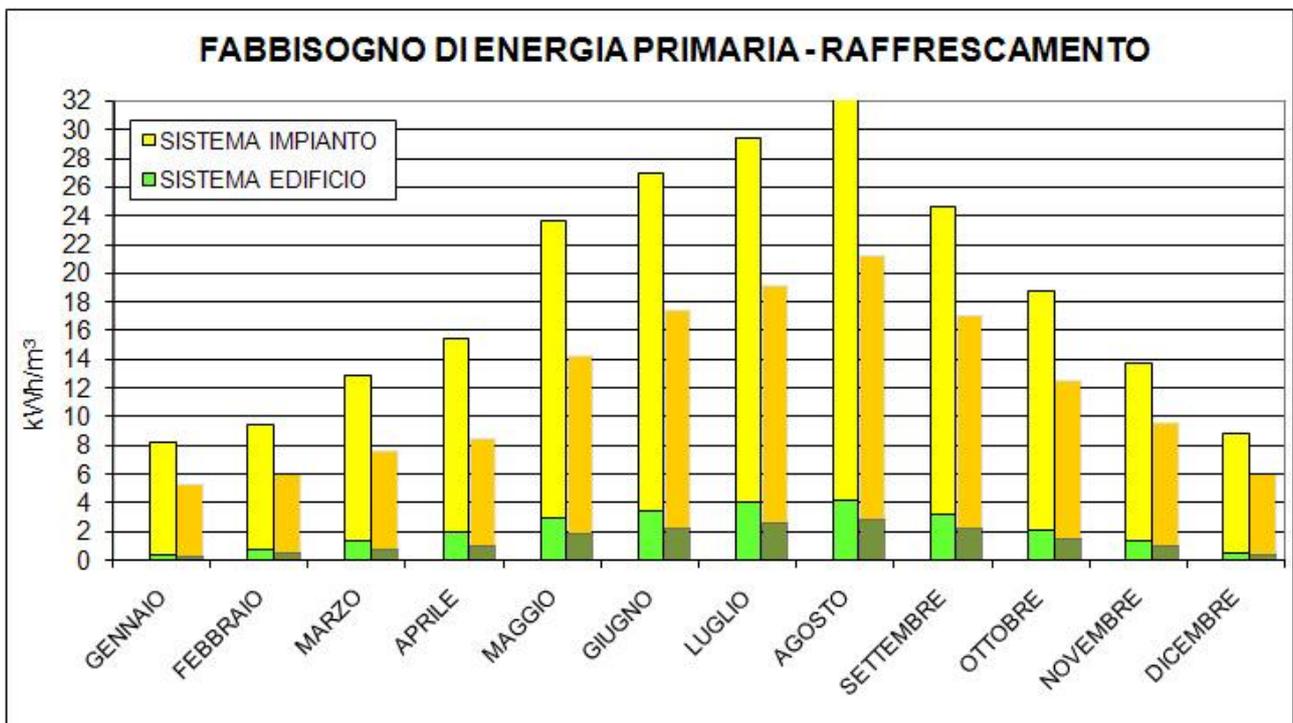


Figura 3.2.19 – Fabbisogno di energia primaria per il raffrescamento, in presenza ed in assenza di schermature solari, per la città di Palermo.

Tabella 3.2.19 – Fabbisogno mensile ed annuale di energia primaria per il riscaldamento ed il riscaldamento dell'intero edificio, in presenza ed in assenza di schermature esterne, per la città di Torino. Valori in kWh/m³.

	RISCALDAMENTO		RAFFRESCAMENTO		PRODUZIONE ACS
	NO SCHERMATURA	SCHERMATURA	NO SCHERMATURA	SCHERMATURA	
GENNAIO	7,45	7,61	1,09	0,57	0,07
FEBBRAIO	3,96	4,00	2,36	1,40	0,06
MARZO	0,64	0,69	8,31	5,39	0,07
APRILE	0,01	0,02	10,75	6,09	0,07
MAGGIO	0,00	0,00	17,18	11,05	0,07
GIUGNO	0,00	0,00	22,72	15,73	0,07
LUGLIO	0,00	0,00	25,21	17,62	0,07
AGOSTO	0,00	0,00	24,59	17,94	0,07
SETTEMBRE	0,00	0,00	16,20	11,63	0,07
OTTOBRE	0,05	0,02	10,43	7,08	0,07
NOVEMBRE	1,62	1,39	4,77	4,15	0,07
DICEMBRE	4,83	4,44	1,92	1,64	0,07
TOTALE ANNUALE	18,57	18,17	145,53	100,29	0,82

Tabella 3.2.20 – Fabbisogno mensile ed annuale di energia primaria per il riscaldamento ed il raffreddamento dell'intero edificio, in presenza ed in assenza di schermature esterne, per la città di Palermo. Valori in kWh/m³.

	RISCALDAMENTO		RAFFRESCAMENTO		PRODUZIONE ACS
	NO SCHERMATURA	SCHERMATURA	NO SCHERMATURA	SCHERMATURA	
GENNAIO	0,16	0,15	8,20	5,44	0,07
FEBBRAIO	0,01	0,01	9,53	6,12	0,06
MARZO	0,00	0,00	12,89	7,71	0,07
APRILE	0,00	0,00	15,50	8,66	0,07
MAGGIO	0,00	0,00	23,73	14,52	0,07
GIUGNO	0,00	0,00	26,97	17,70	0,07
LUGLIO	0,00	0,00	29,41	19,49	0,07
AGOSTO	0,00	0,00	32,09	21,54	0,07
SETTEMBRE	0,00	0,00	24,70	17,36	0,07
OTTOBRE	0,00	0,00	18,76	12,68	0,07
NOVEMBRE	0,00	0,00	13,71	9,68	0,07
DICEMBRE	0,03	0,01	8,89	6,19	0,07
TOTALE ANNUALE	0,20	0,17	224,37	147,10	0,82

3.2.3 Applicazione della UNI/TS 11300 al caso studio

Il calcolo semplificato del fabbisogno energetico, attraverso il modello fornito dalla norma UNI/TS 11300-1, è stato condotto simulando singolarmente ogni piano, e suddividendo il medesimo nelle zone termiche, così come proposte nelle figure dalla 3.2.2 alla 3.2.8, utilizzate per la simulazione dinamica della torre.

Il piano terreno è stato suddiviso in 5 zone termiche, coerentemente con quanto predisposto nelle precedenti simulazioni. La figura 3.2.20 mostra i confini delle zone termiche, e come sono stati considerati i componenti di delimitazione delle medesime:

- in colore VERDE gli elementi disperdenti verso l'esterno;
- in colore ROSSO gli elementi disperdenti verso ambienti non riscaldati;
- in colore GRIGIO gli elementi considerati adiabatici.

Con riferimento ai componenti verticali, dalla suddivisione appena operata si desume che i bagni a servizio rispettivamente del ristorante e del negozio, non si considerano disperdenti, se non per la parete di separazione con il vano scala; parimenti, non si considerano disperdenti i componenti di separazione della caffetteria rispettivamente con il negozio e con il ristorante.

Con riferimento ai componenti orizzontali, il solaio inferiore è considerato disperdente verso il piano interrato adibito ad autorimessa e perciò non riscaldato, mentre il solaio superiore di suddivisione tra l'area commerciale ed il primo piano uffici, è considerato adiabatico.

Si ricorda infine che il vano scala non essendo riscaldato, non rientra in alcuna zona termica.

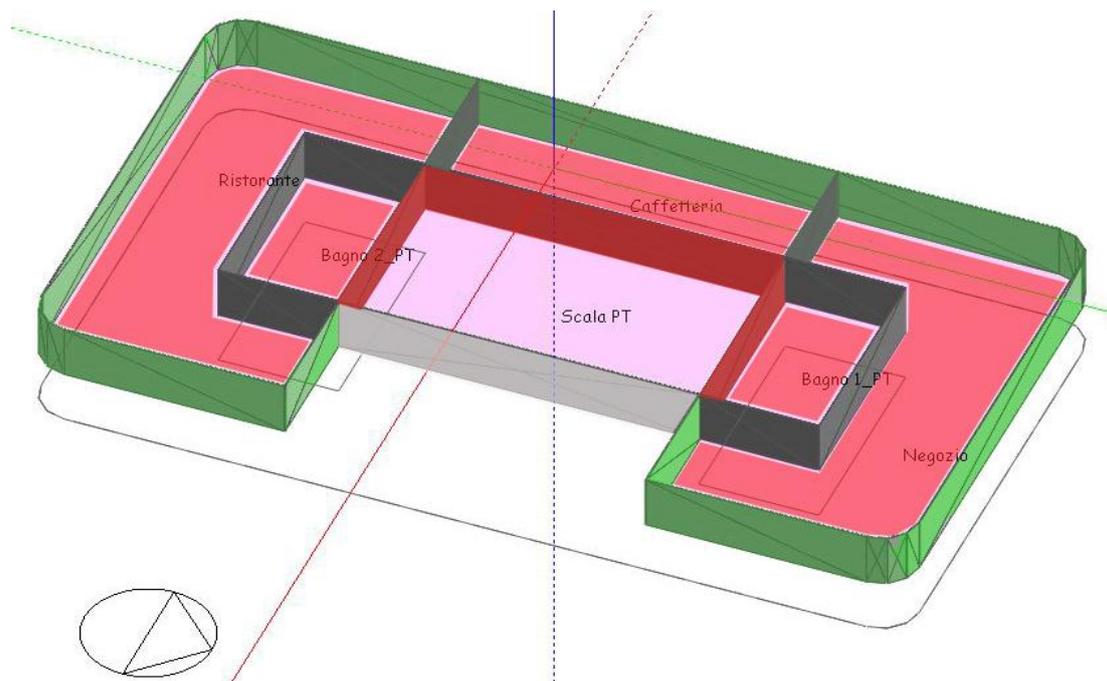


Figura 3.2.20 – Suddivisione in zone termiche del piano terreno, in applicazione della UNI/TS 11300.

Per i piani soprastanti il terreno, la destinazione d'uso è ad uffici. Il primo piano è stato suddiviso in 10 zone, delle quali quella centrale – le scale – non riscaldata. Parimenti al piano terreno, la figura 3.2.21 mostra attraverso l'utilizzo di differenti colori, i componenti disperdenti verso l'esterno (verde), i componenti disperdenti verso ambienti non riscaldati (rosso) ed infine i componenti adiabatici (grigio).

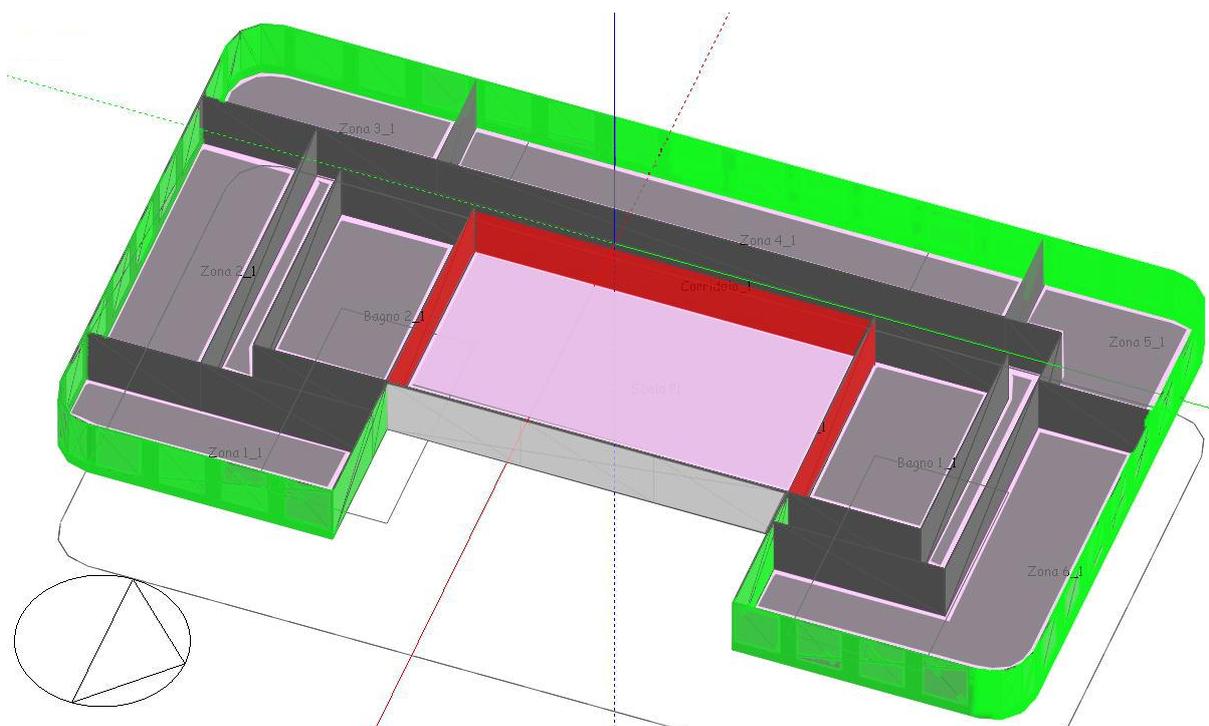


Figura 3.2.21 – Suddivisione in zone termiche del primo piano, in applicazione della UNI/TS 11300.

A differenza del piano terreno, i componenti di separazione delle zone termiche dall'esterno sono in parte vetrati, ed in parte opachi. La superficie vetrata, ad eccezione di quella facente parte dell'atrio vetrato, è delimitata dal telaio; della medesima inoltre risulta necessario un corretto calcolo del fattore di ombreggiatura, per tenere in considerazione le schermature mobili esterne ad essa associate.

I componenti opachi interni di separazione tra le zone sono considerate adiabatiche e concorrono così alla sola definizione della capacità termica dell'edificio; gli unici componenti interni opachi disperdenti risultano essere le pareti di separazione tra le due zone adibite a servizi igienici, ed il vano scala, per la valutazione delle quali dispersioni è necessario utilizzare il medesimo fattore correttivo b_r utilizzato per il piano terreno (tabelle 3.2.21-22).

Il secondo piano si configura come il piano tipo rappresentato in figura 3.2.2: interamente dedicato ad uffici, è suddiviso in sette zone termiche confinanti con l'ambiente esterno, dislocate attorno ad un'area centrale adibita a corridoio, servizi igienici e scale, queste ultime non riscaldate. In una simulazione di tipo semplificato, le zone da considerare nella valutazione delle dispersioni termiche per trasmissione risultano esclusivamente gli uffici (zone termiche dalla 1 alla 7 comprese), mentre i servizi igienici devono essere considerati nel bilancio per la sola quota riferita a ventilazione ed apporti termici interni.

Unica distinzione tra il piano secondo ed il piano tipo di tipologia A risiede nella presenza di parte del solaio della zona termica 7 e del corridoio confinante verso l'ambiente esterno; più correttamente questo risulta essere l'elemento opaco di conclusione superiore dell'atrio vetrato a doppia altezza (figura 3.2.22).

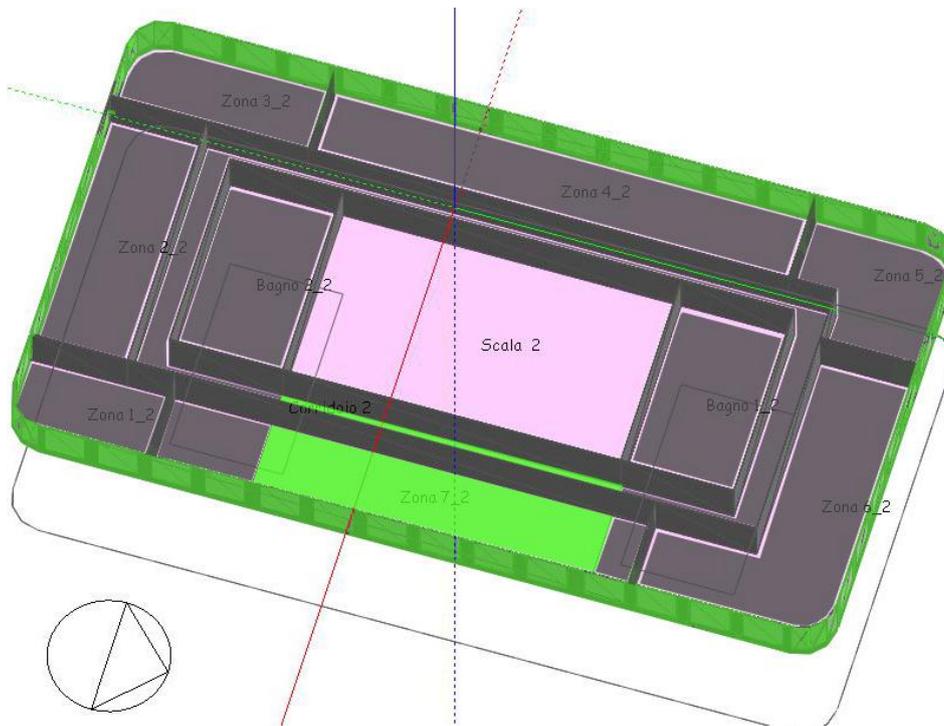


Figura 3.2.22 – Suddivisione in zone termiche del secondo piano, in applicazione della UNI/TS 11300.

Il sedicesimo piano si configura come piano tipo di tipologia A; l'unica differenza sussiste nella presenza di un oggetto orizzontale ombreggiante presente nelle zone dalla 3 alla 6, a seguito dell'estensione della soletta del diciassettesimo piano (figura 3.2.5): in termini energetici tale variazione si configura come ulteriore riduzione degli apporti solari gratuiti durante il periodo invernale, e riduzione del carico solare in ambiente durante il periodo estivo, da valutare attraverso una corretta definizione del fattore $F_{sh,ob}$. L'oggetto orizzontale superiore è stato modellato considerando ogni finestra singolarmente, ed ipotizzando un'ombra su di essa derivante da un oggetto superiore orizzontale caratterizzato da una lunghezza pari a quella della finestra più metà del componente opaco delimitante su entrambi i lati la finestra medesima, e da una profondità pari a quella del rettangolo circoscritto alla porzione di oggetto definita dalla lunghezza dell'oggetto medesimo.

I piani dal 17° al 23° si configurano come di tipologia B (figure 3.2.4-5).

Il 17° piano presenta parte della superficie di pavimento confinante con l'ambiente esterno; questo comporta, a parità di volume, un incremento degli scambi termici per trasmissione con l'ambiente esterno delle zone interessate, nonché una riduzione della capacità termica areica per unità di superficie di involucro (tabella 3.2.22).

Il piano 23° si configura infine come tipologia B e rappresenta l'ultimo piano costituito da zone termiche: al livello superiore, il piano confina con la centrale termica non riscaldata, e per questo si necessita di una corretta valutazione delle dispersioni termiche per trasmissione del componente, mediante la determinazione del fattore di correzione b_{tr} (tabelle 3.2.23 e 3.2.24).

Con riferimento all'ombreggiamento dei componenti trasparenti, il modello di calcolo semplificato distingue l'ombreggiamento dovuto ad ostruzioni esterne fisse, dall'ombreggiamento dovuto all'utilizzo di schermature mobili: mentre il primo è valutato attraverso il parametro $F_{sh,ob}$, del secondo apporto si tiene conto adottando un coefficiente di trasmittanza di energia solare totale g_{gl} corretto, per tener conto della presenza della schermatura mobile g_{gl+sh} .

Per le finalità del presente lavoro, $F_{sh,ob}$ (tabella 3.2.21) è stato valutato per ogni finestra, considerando sia l'incassamento del componente trasparente (se presente), sia la presenza di un oggetto superiore (per i piani dal 16° al 23°), utilizzando i fattori di ombreggiatura per oggetti orizzontali F_{ov} riportati nei prospetti in appendice D alla norma UNI/TS 11300-1. In caso di

presenza di elementi ombreggianti esterni al componente, è inoltre necessario calcolare il fattore di ombreggiatura relativo alla sola radiazione diffusa $F_{sh,ob,dif}$ – al fine della valutazione dello scambio nell'infrarosso tra il componente e la volta celeste – per la determinazione del quale è stato utilizzato il programma *Ombre*, uno strumento di calcolo semplificato per la valutazione della prestazione della schermatura fissa (sia essa orizzontale, verticale o inclinata), attraverso una simulazione oraria condotta a partire dai dati geometrici del vetro e della schermatura, nonché dai dati sull'irradianza giornaliera media mensile, diretta e diffusa, sul piano orizzontale, ricavabili dalla norma di riferimento (UNI 10349). Nel caso specifico, per coerenza con le simulazioni dinamiche in termini di condizioni al contorno utilizzate, per la determinazione dei fattori di ombreggiamento si sono utilizzati i profili orari medi mensili adottati da *EnergyPlus*, implementandoli nel programma *Ombre*.

Tabella 3.2.21 – Fattore di ombreggiamento $F_{sh,ob}$.

$F_{sh,ob}$	PIANO TERRA		PRIMO PIANO				16° PIANO							
ZONA TERMICA	RISTORANTE	NEGOZIO	1	6	CORRIDOIO		3	4	5					6
ESPOSIZIONE	SUD	NORD	NORD	SUD	NORD	SUD	OVEST	OVEST	NORD	OON	NO	NNO	OVEST	NORD
gennaio	0,99	0,95	0,47	0,4	0,56	0,49	0,88	0,75	0,8	0,8	0,76	0,82	0,74	0,88
febbraio	0,98	0,95	0,47	0,54	0,49	0,4	0,88	0,7	0,77	0,76	0,75	0,79	0,67	0,88
marzo	0,99	0,95	0,48	0,48	0,57	0,27	0,86	0,64	0,81	0,77	0,79	0,82	0,61	0,87
aprile	0,97	0,96	0,47	0,47	0,58	0,3	0,85	0,56	0,81	0,71	0,79	0,83	0,49	0,89
maggio	0,82	0,96	0,46	0,46	0,56	0,35	0,84	0,51	0,81	0,63	0,76	0,83	0,43	0,89
giugno	0,75	0,96	0,45	0,45	0,55	0,39	0,83	0,5	0,81	0,59	0,75	0,83	0,43	0,88
luglio	0,76	0,96	0,45	0,45	0,58	0,37	0,84	0,5	0,82	0,61	0,76	0,84	0,42	0,89
agosto	0,9	0,96	0,47	0,46	0,58	0,32	0,84	0,53	0,82	0,68	0,78	0,84	0,45	0,89
settembre	0,99	0,95	0,48	0,47	0,56	0,27	0,85	0,6	0,81	0,75	0,79	0,83	0,55	0,89
ottobre	0,99	0,95	0,47	0,46	0,54	0,32	0,87	0,68	0,8	0,78	0,78	0,82	0,67	0,89
novembre	0,99	0,95	0,47	0,43	0,55	0,45	0,88	0,73	0,79	0,79	0,76	0,81	0,72	0,89
dicembre	0,99	0,95	0,47	0,38	0,55	0,52	0,88	0,75	0,79	0,79	0,75	0,81	0,74	0,89

Parimenti, il parametro g_{gl+sh} è stato valutato per ogni finestra ogni qual volta questa prevedesse l'inserimento di una schermatura mobile, ossia per le zone adibite ad uffici. La norma UNI/TS 11300-1 riporta nel prospetto 14 dati precalcolati per alcuni tipi di tenda, del fattore di riduzione; considerando una veneziana bianca, con assorbimento solare 0,1 e trasmissione solare 0,05, posta sul lato esterno del componente vetrato, la norma associa alla schermatura mobile un fattore di riduzione di 0,10. Nel caso specifico, g_{gl+sh} è stato determinato a partire dai dati in uscita alla simulazione dinamica, secondo la quale l'utilizzo della tipologia di schermatura mobile adottata per l'edificio a torre (tabella 3.2.4) comporta un fattore g_{gl+sh} pari a 0,09.

Con riferimento al profilo di utilizzo delle schermature mobili, parimenti a quanto simulato per la valutazione dinamica, si è assunto un utilizzo delle schermature in presenza di una radiazione solare sul componente superiore a 300 W/m^2 , coerentemente con quanto proposto dalla norma di riferimento, UNI/TS 11300-1, attraverso il fattore $f_{sh,with}$.

NB: si ricorda che i valori precalcolati forniti dalla norma e riportati in tabella 3.2.21, sono stati valutati considerando i dati climatici della norma UNI 10349, mentre il profilo dell'irradianza solare utilizzata nella simulazione dinamica deriva dal database di *EnergyPlus*; questo potrebbe comportare differenze di valutazione del profilo di utilizzo delle schermature mobili.

Una ulteriore distinzione tra modellazione dettagliata e semplificata, risulta nel calcolo delle dispersioni termiche per trasmissione attraverso componenti trasparenti muniti di schermature mobili: mentre *EnergyPlus* considera una trasmittanza termica ridotta durante le ore di funzionamento dello schermo mobile, questo aspetto secondo la norma UNI/TS 11300-1 viene contemplato nel solo caso si stia considerando un elemento oscurante e non ombreggiante, attraverso il parametro U_{w+shut} .

Le finestre al piano terreno risultano a filo esterno e prive di schermature mobili; risulterà quindi che $F_{sh,ob} = F_{sh,ob,dif} = 1$ e $g_{gl} = g_{gl+sh}$.

Secondo il metodo semplificato, l'inerzia termica dei componenti opachi concorre alla determinazione del fabbisogno energetico dell'edificio, mediante la costante di tempo termica, a sua volta funzione della capacità termica C_m , calcolata a partire dalla capacità termica areica κ di ogni singolo componente a contatto con l'aria dell'ambiente climatizzato. Per questo motivo, per ogni piano ed in seguito per ogni zona termica, in applicazione alla norma UNI/TS 11300-1, si è proceduto alla valutazione della capacità termica per unità di superficie d'involucro (tabella 3.2.22).

Tabella 3.2.22 – Capacità termica per unità di superficie d'involucro κ_e (valori in kJ/(m²K)).

PIANO TERRA									
RISTORANTE		CAFFETTERIA		NEGOZIO				BAGNO 1	BAGNO 2
73		77		73				125	125
PRIMO PIANO									
ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3	ZONA 4	ZONA 5	ZONA 6	ZONA 7	CORRIDOIO	BAGNO 1	BAGNO 2
137	223	175	238	177	174		381	376	376
SECONDO PIANO									
ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3	ZONA 4	ZONA 5	ZONA 6	ZONA 7	CORRIDOIO	BAGNO 1	BAGNO 2
163	223	175	238	177	204	112	222	376	376
DAL TERZO AL SEDICESIMO PIANO									
ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3	ZONA 4	ZONA 5	ZONA 6	ZONA 7	CORRIDOIO	BAGNO 1	BAGNO 2
163	223	175	238	177	204	238	285	376	376
DICIASSETTESIMO PIANO									
ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3	ZONA 4	ZONA 5	ZONA 6	ZONA 7	CORRIDOIO	BAGNO 1	BAGNO 2
163	223	172	189	130	199	238	285	376	376
DAL DICIOTTESIMO AL VENTIDUESIMO PIANO									
ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3	ZONA 4	ZONA 5	ZONA 6	ZONA 7	CORRIDOIO	BAGNO 1	BAGNO 2
163	223	187	326	221	213	238	285	376	376
VENTITREESIMO PIANO									
ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3	ZONA 4	ZONA 5	ZONA 6	ZONA 7	CORRIDOIO	BAGNO 1	BAGNO 2
80	83	84	99	87	87	92	119	127	127

La soletta del piano terreno, così come le pareti divisorie tra i due servizi igienici ed il vano scala, confinano con ambienti non riscaldati. In caso di valutazione semplificata, lo scambio termico tra ambiente riscaldato ed esterno, attraverso ambienti non riscaldati, è condotta mediante la valutazione del parametro correttivo b_{tr} , calcolato in funzione del coefficiente globale di scambio termico sia tra l'ambiente riscaldato e l'ambiente non riscaldato, sia tra l'ambiente non riscaldato e l'ambiente esterno, secondo la norma UNI EN ISO 13789.

Nel caso specifico dell'edificio a torre, gli ambienti non riscaldati di separazione tra le zone termiche e l'ambiente esterno si distinguono come segue:

- piano interrato adibito ad autorimessa, confinante con il piano terreno e concluso da componenti opachi orizzontali e verticali contro terra;
- vano scala, di separazione al piano terreno rispettivamente dei servizi igienici e della caffetteria, dall'ambiente esterno; al primo piano di separazione rispettivamente dei servizi igienici e del corridoio distributivo, dall'ambiente esterno;
- il piano 24°, di separazione del solaio dell'ultimo piano uffici dall'ambiente esterno.

Per i piani superiori al secondo, il vano scala risulta confinante esclusivamente con ambienti riscaldati, e per questo nel calcolo semplificato può considerarsi interamente adiabatico.

Per la determinazione del fattore di correzione b_{tr} riferito al piano interrato, risulta inoltre necessario il calcolo della trasmittanza termica equivalente dei componenti opachi (pavimento e muratura perimetrale) a contatto con il terreno, secondo quanto previsto dalla norma di riferimento UNI EN ISO 13370.

I valori del fattore di correzione sono stati riportati per singola zona termica, rispettivamente per il piano terra (tabella 3.2.23) e per il 23° piano (tabella 3.2.24).

Una sostanziale differenza tra la modellazione con *EnergyPlus* ed il calcolo semplificato risiede nella valutazione dei ponti termici: questi sono contemplati nel modello semplificato, adottando una trasmittanza termica lineica ricavabile dalla norma UNI EN ISO 14683:2008 (dati precalcolati) per la lunghezza del ponte termico; invece la valutazione con *EnergyPlus* non permette di simulare la presenza di ponti termici, se non adottando l'espedito di ipotizzare i medesimi come una sottosuperficie da associare al componente nel quale è presente l'effettivo ponte termico, e caratterizzare tale sottosuperficie attraverso un coefficiente di dispersione termica pari a quello dell'effettivo ponte termico, e medesime caratteristiche termiche dinamiche del componente opaco associato.

In prima istanza, si è deciso quindi di procedere omettendo la valutazione dei ponti termici, sia nel caso di valutazione semplificata, sia in caso di simulazione dinamica; per il medesimo motivo, nella valutazione del fattore di correzione b_{tr} (tabella 3.2.23-24), non sono stati considerati ponti termici.

Tabella 3.2.23 – Calcolo del fattore di correzione b_{tr} per gli ambienti del piano terreno.

PIANO TERRA									
ELEMENTO	A [m ²]	U [W/m ² K]	l [m]	ψ [W/mK]	V [m ³]	n [h ⁻¹]	H _{ue} [W/K]	H _{iu} [W/K]	b [-]
PARETE CAFFETTERIA	49,6	0,66	0,00	0,00				32,7	0,809
PAVIMENTO SCALA	174,1	0,28	0,00	0,00			49,1		
PARETE SCALA	49,6	1,81	0,00	0,00			89,6		
ELEMENTO	A [m ²]	U [W/m ² K]	l [m]	ψ [W/mK]	V [m ³]	n [h ⁻¹]	H _{ue} [W/K]	H _{iu} [W/K]	b [-]
PAVIMENTO RISTORANTE	218,1	0,31	0,00	0,00				67,4	0,893
PAVIMENTO GARAGE	941,0	0,31	0,00	0,00			290,6		
PARETE GARAGE	363,5	0,75	0,00	0,00			274,2		
ELEMENTO	A [m ²]	U [W/m ² K]	l [m]	ψ [W/mK]	V [m ³]	n [h ⁻¹]	H _{ue} [W/K]	H _{iu} [W/K]	b [-]
PAVIMENTO CAFFETTERIA	107,0	0,31	0,00	0,00				33,0	0,945
PAVIMENTO GARAGE	941,0	0,31	0,00	0,00			290,6		
PARETE GARAGE	363,5	0,75	0,00	0,00			274,2		
ELEMENTO	A [m ²]	U [W/m ² K]	l [m]	ψ [W/mK]	V [m ³]	n [h ⁻¹]	H _{ue} [W/K]	H _{iu} [W/K]	b [-]
PAVIMENTO BAGNO	58,0	0,31	0,00	0,00				17,9	0,969
PAVIMENTO GARAGE	941,0	0,31	0,00	0,00			290,6		
PARETE GARAGE	363,5	0,75	0,00	0,00			274,2		
ELEMENTO	A [m ²]	U [W/m ² K]	l [m]	ψ [W/mK]	V [m ³]	n [h ⁻¹]	H _{ue} [W/K]	H _{iu} [W/K]	b [-]
PAVIMENTO SCALA	174,1	0,31	0,00	0,00				53,8	0,913
PAVIMENTO GARAGE	941,0	0,31	0,00	0,00			290,6		
PARETE GARAGE	363,5	0,75	0,00	0,00			274,2		

Tabella 3.2.24 – Calcolo del fattore di correzione b_{tr} per gli ambienti del 23° piano.

23° PIANO									
ELEMENTO	A [m ²]	U [W/m ² K]	l [m]	Ψ [W/mK]	V [m ³]	n [h ⁻¹]	H _{ue} [W/K]	H _{iu} [W/K]	b [-]
SOFFITTO ZONA 1	33,0	0,73	0,00	0,00				24,1	0,956
SOFFITTO 24° PIANO	1040,5	0,29	0,00	0,00			304,9		
PARETI 24° PIANO	615,5	0,35	0,00	0,00			214,7		
ELEMENTO	A [m ²]	U [W/m ² K]	l [m]	Ψ [W/mK]	V [m ³]	n [h ⁻¹]	H _{ue} [W/K]	H _{iu} [W/K]	b [-]
SOFFITTO ZONA 2	66,0	0,73	0,00	0,00				48,3	0,915
SOFFITTO 24° PIANO	1040,5	0,29	0,00	0,00			304,9		
PARETI 24° PIANO	615,5	0,35	0,00	0,00			214,7		
ELEMENTO	A [m ²]	U [W/m ² K]	l [m]	Ψ [W/mK]	V [m ³]	n [h ⁻¹]	H _{ue} [W/K]	H _{iu} [W/K]	b [-]
SOFFITTO ZONA 3	49,0	0,73	0,00	0,00				35,8	0,935
SOFFITTO 24° PIANO	1040,5	0,29	0,00	0,00			304,9		
PARETI 24° PIANO	615,5	0,35	0,00	0,00			214,7		
ELEMENTO	A [m ²]	U [W/m ² K]	l [m]	Ψ [W/mK]	V [m ³]	n [h ⁻¹]	H _{ue} [W/K]	H _{iu} [W/K]	b [-]
SOFFITTO ZONA 4	163,0	0,73	0,00	0,00				119,2	0,813
SOFFITTO 24° PIANO	1040,5	0,29	0,00	0,00			304,9		
PARETI 24° PIANO	615,5	0,35	0,00	0,00			214,7		
ELEMENTO	A [m ²]	U [W/m ² K]	l [m]	Ψ [W/mK]	V [m ³]	n [h ⁻¹]	H _{ue} [W/K]	H _{iu} [W/K]	b [-]
SOFFITTO ZONA 5	85,0	0,73	0,00	0,00				62,2	0,893
SOFFITTO 24° PIANO	1040,5	0,29	0,00	0,00			304,9		
PARETI 24° PIANO	615,5	0,35	0,00	0,00			214,7		
ELEMENTO	A [m ²]	U [W/m ² K]	l [m]	Ψ [W/mK]	V [m ³]	n [h ⁻¹]	H _{ue} [W/K]	H _{iu} [W/K]	b [-]
SOFFITTO ZONA 6	103,0	0,73	0,00	0,00				75,3	0,873
SOFFITTO 24° PIANO	1040,5	0,29	0,00	0,00			304,9		
PARETI 24° PIANO	615,5	0,35	0,00	0,00			214,7		
ELEMENTO	A [m ²]	U [W/m ² K]	l [m]	Ψ [W/mK]	V [m ³]	n [h ⁻¹]	H _{ue} [W/K]	H _{iu} [W/K]	b [-]
SOFFITTO ZONA 7	112,0	0,73	0,00	0,00				81,9	0,864
SOFFITTO 24° PIANO	1040,5	0,29	0,00	0,00			304,9		
PARETI 24° PIANO	615,5	0,35	0,00	0,00			214,7		
ELEMENTO	A [m ²]	U [W/m ² K]	l [m]	Ψ [W/mK]	V [m ³]	n [h ⁻¹]	H _{ue} [W/K]	H _{iu} [W/K]	b [-]
SOFFITTO CORRIDOIO	139,0	0,73	0,00	0,00				101,7	0,836
SOFFITTO 24° PIANO	1040,5	0,29	0,00	0,00			304,9		
PARETI 24° PIANO	615,5	0,35	0,00	0,00			214,7		
ELEMENTO	A [m ²]	U [W/m ² K]	l [m]	Ψ [W/mK]	V [m ³]	n [h ⁻¹]	H _{ue} [W/K]	H _{iu} [W/K]	b [-]
SOFFITTO BAGNO 1	57,9	0,73	0,00	0,00				42,3	0,925
SOFFITTO 24° PIANO	1040,5	0,29	0,00	0,00			304,9		
PARETI 24° PIANO	615,5	0,35	0,00	0,00			214,7		
ELEMENTO	A [m ²]	U [W/m ² K]	l [m]	Ψ [W/mK]	V [m ³]	n [h ⁻¹]	H _{ue} [W/K]	H _{iu} [W/K]	b [-]
SOFFITTO BAGNO 2	57,9	0,73	0,00	0,00				42,3	0,925
SOFFITTO 24° PIANO	1040,5	0,29	0,00	0,00			304,9		
PARETI 24° PIANO	615,5	0,35	0,00	0,00			214,7		

IMPIANTO DI CONDIZIONAMENTO E PRODUZIONE ACQUA CALDA SANITARIA

Il fabbisogno di energia termica utile $Q_{H,nd}$ calcolato applicando al caso studio la UNI/TS 11300-1, viene definito dalla UNI/TS 11300-2 come fabbisogno ideale, ed è riferito ad una temperatura dell'aria uniforme in tutto lo spazio riscaldato, nonché ad un funzionamento continuo, ossia ad una temperatura dell'aria interna costante nel tempo.

Per la valutazione del fabbisogno di energia primaria per il riscaldamento mediante applicazione della UNI/TS 11300-2, si è presa di riferimento la valutazione di tipo "standard" (A2), per la quale il calcolo viene effettuato sulla base dei dati relativi all'edificio e all'impianto reale, come costruito, mentre per le modalità di occupazione e di utilizzo dell'edificio e dell'impianto si assumono valori convenzionali di riferimento. Questa valutazione è eseguita in regime di funzionamento continuo.

Con riferimento a tale tipologia di valutazione, la UNI/TS 11300-2 prevede per il sottosistema di emissione, la possibilità di utilizzare i valori del rendimento di emissione riportati al prospetto 17 della specifica tecnica (utilizzabili in caso di altezze interpiano al più pari a 4 m); parimenti, per il sottosistema di regolazione, il rendimento può essere desunto dal prospetto 20.

Il prospetto 17, in caso di sottosistema di emissione a bocchette in impianti a tutt'aria, prevede un rendimento pari a 0,94 (carico termico di riferimento calcolato inferiore a 4 W/m^3), comprensivo di recuperi termici.

Il prospetto 20, in caso di sistemi ad aria calda abbinati ad un sistema di regolazione con centralina climatica ed ambiente con regolatore (P banda prop. $1 \text{ }^\circ\text{C}$), prevede un rendimento pari a 0,98, comprensivo di recuperi termici.

Passando alla valutazione del rendimento del sottosistema di distribuzione, la UNI/TS 11300-2 prevede la possibilità di utilizzo dei valori del prospetto 21 della medesima, quando però le condizioni sono tra quelle specificate per i dati precalcolati; in caso diverso si applica il metodo dell'appendice A alla UNI/TS 11300-2. In caso di impianti ad aria calda, la specifica tecnica prevede in ogni caso l'applicazione di metodi analitici, ma non definisce quali: l'appendice A riporta infatti una metodologia di calcolo di tipo analitico, ma è specificato che questa possa essere applicata solo in caso di fluido termovettore acqua. Ai fini della valutazione del rendimento del sottosistema di distribuzione, si è quindi proceduto applicando la metodologia di calcolo riportata all'interno della UNI/TS 11300-3 per la valutazione delle dispersioni termiche del sottosistema di distribuzione di impianti ad aria, in caso di climatizzazione estiva. Le perdite di distribuzione dei sistemi di climatizzazione così valutate, considerano sia le perdine nei canali di distribuzione dell'aria, sia le perdite nelle tubazioni che convogliano o distribuiscono l'acqua refrigerata, mentre le perdite del circuito acqua della torre di raffreddamento sono trascurate. Nello specifico dell'edificio a torre, le perdite di distribuzione riferite alle canalizzazioni sono considerate nulle, in quanto il percorso dei canali avviene per intero in ambienti riscaldati, e si considerano trascurabili anche le perdite di energia termica dovute a perdite di massa (determinate secondo UNI EN 15242). Con riferimento alle perdite di distribuzione nelle tubazioni del circuito primario, per il calcolo si rimanda all'appendice A della UNI/TS 11300-2. Si vuole porre in evidenza come tale metodologia di calcolo non sia idonea alla corretta valutazione delle perdite di distribuzione di un circuito primario, in quanto pensata nello specifico per sistemi con fluido termovettore acqua utilizzato nel circuito secondario (collegamento tra centrale termica e terminali in ambiente). Per questo motivo, ai fini del presente lavoro, si è proceduto ricavando tale valore da quanto calcolato mediante *EnergyPlus*, in maniera inversa, rapportando l'energia termica utile fornita all'energia termica in ingresso al sottosistema di distribuzione, maggiorato dell'energia elettrica degli ausiliari al sottosistema, correttamente convertita in energia termica (fattore di conversione 0,458). Dai calcoli risulta un'efficienza di distribuzione di 0,9, calcolato per il mese di gennaio.

Si ricorda inoltre la necessità di considerare il fabbisogno di energia termica necessario al trattamento dell'aria, del quale non si è tenuto conto nel calcolo del fabbisogno di energia termica utile. Secondo quanto riportato al punto 12 della UNI/TS 11300-1, in caso di ventilazione meccanica a doppio flusso, il tasso di ricambio d'aria è preso pari alla portata d'aria di progetto del sistema di ventilazione meccanica, moltiplicato per $(1-\eta_{ve})$, dove η_{ve} è il fattore di efficienza del recuperatore di calore (nel caso specifico, non presente). In condizioni di calcolo invernale quindi, il fabbisogno termico per ventilazione meccanica è valutato a partire dalla portata volumica d'aria,

moltiplicata per la differenza di temperatura tra l'aria esterna e l'aria di immissione in ambiente, corretta attraverso il fattore b_{ve} , per tenere in considerazione la reale temperatura dell'aria immessa in ambiente, diversa dalla temperatura esterna).

Passando alla valutazione del rendimento del sottosistema di generazione, la UNI/TS 11300-2 prevede la possibilità di utilizzo dei valori del prospetto 23 della medesima specifica, quando però le condizioni sono tra quelle specificate per i dati precalcolati; in caso diverso metodo dell'appendice B alla specifica medesima. Nell'appendice B sono riportati i due metodi utilizzabili per il calcolo delle perdite di generazione:

- metodo di calcolo basato sui rendimenti dichiarati ai sensi della Direttiva 92/42/CEE, con opportune correzioni in relazione alle condizioni di funzionamento;
- metodo di calcolo analitico.

Nel caso specifico, i generatori di calore dell'edificio a torre sono a gas, con bruciatore di calore ad aria soffiata e funzionamento on-off, installati all'interno della centrale termica, e caratterizzati da un rendimento di 0,9, comprensivo di recuperi termici.

Per la valutazione del fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione estiva, è stata applicata la UNI/TS 11300-3. Secondo tale specifica tecnica, il fabbisogno è determinato a partire dal fabbisogno effettivo per raffrescamento – somma del fabbisogno termico utile secondo UNI/TS 11300-1, e delle perdite dei vari sottosistemi dell'impianto al netto degli eventuali recuperi termici – al quale viene sommato il fabbisogno per trattamenti dell'aria (5).

Per il sottosistema di emissione, la UNI/TS 11300-3 riporta al prospetto 6 un rendimento pari a 0,94, in caso di bocchette in sistemi ad aria canalizzata.

Le perdite del sottosistema di regolazione sono definite in funzione del rendimento del medesimo sottosistema. Nel caso di controllo su singolo ambiente, con regolazione modulante (P banda prop. 1 °C), è previsto un rendimento pari a 0,98, comprensivo di recuperi termici.

Parimenti a quanto già specificato il calcolo invernale, nel calcolo in regime estivo, le dispersioni termiche del sottosistema di distribuzione sono state valutate a partire dalle simulazioni dinamiche, non essendo riscontrabili dispersioni termiche nelle canalizzazioni di aria trattata (tubazioni interamente in ambiente climatizzato), e non valutando idoneo l'iter di calcolo della UNI/TS 11300-2 alla quale si rimanda per la valutazione delle dispersioni nelle tubazioni di acqua refrigerata.

Il calcolo dei fabbisogni per trattamento dell'aria Q_v è effettuata con riferimento alla configurazione classica di un'unità di trattamento aria a tre batterie con umidificazione di tipo adiabatico ed assumendo per le condizioni dell'ambiente interno una temperatura di 26 °C e 50% di umidità relativa nel periodo estivo, e di 20 °C e 50% di umidità relativa nel periodo invernale.

Con riferimento al sottosistema di generazione, la UNI/TS 11300-3 prevede la valutazione del coefficiente di prestazione medio mensile del sistema di produzione dell'energia frigorifera, funzione dell'*EER* (*Energy Efficiency Ratio*), corretto attraverso opportuni coefficienti in caso di assenza di dati riferiti a valori di *EER* corrispondenti a fattori di carico F (rapporto tra la quantità di energia termica erogata nel periodo considerato ed il valore massimo dell'energia erogabile dalla macchina frigorifera nello stesso periodo) diversi da quelli di riferimento (100%, 75%, 50%, 25%), generalmente forniti dal costruttore. L'*EER* si definisce come rapporto tra la potenza frigorifera erogata e la potenza elettrica del compressore installato (in tabella 3.2.25 riassunte le potenze nominali installate dei 3 chiller, distinti per la città di Torino e di Palermo); l'*EER* quindi può essere assimilato al *COP* (Coefficient of Performance), che nello specifico dell'edificio a torre è pari a 5 in corrispondenza di un fattore di carico del 50%.

Tabella 3.2.25 - Potenza elettrica installata dei tre impianti dell'edificio a torre.

	TORINO	PALERMO
Piano Terra	265 kW	280 kW
Piani dal 1° al 16°	12,3 MW	10,6 MW
Piano dal 17° al 23°	560 kW	542 kW

Si passa ora alla valutazione del fabbisogno di energia primaria per la produzione di acqua calda sanitaria.

Coerentemente con quanto scritto al capitolo 3.2.2, il fabbisogno mensile di energia per acqua calda sanitaria dell'intero edificio è riportato in tabella 3.2.26, distinto per i tre bruciatori a gas.

Tabella 3.2.26 – Fabbisogno mensile di acqua calda sanitaria secondo UNI/TS 11300-2.

TIPO DI ATTIVITÀ	FABBISOGNO ACS (APPLICAZIONE AL CASO STUDIO)		
	Negozi	-	1060 l/G
Ristoranti	900 l/G		
Catering e self service	160 l/G		
Uffici	piani 1-16	2432 l/G	Bruciatore 2
	piani 17-23	520 l/G	Bruciatore 3

Dai calcoli risulta quindi che l'energia termica $Q_{h,w}$ richiesta annualmente per riscaldare la quantità di acqua alla temperatura desiderata è pari a:

- Bruciatore 1 → 11241 kWh
- Bruciatore 2 → 25789 kWh
- Bruciatore 3 → 5510 kWh

A tale energia termica richiesta devono quindi essere aggiunte le perdite dei sottosistemi di erogazione, distribuzione, di accumulo e di generazione, al fine di ottenere il fabbisogno di energia primaria per la produzione di ACS.

Per il sottosistema di erogazione, la UNI/TS 11300-2 definisce un'efficienza pari al 95%.

Con riferimento al sottosistema di distribuzione, in assenza di ricircolo, la UNI/TS 11300-2 fornisce i coefficienti di perdita e di recupero, a seconda della data di installazione del sistema. Nel caso specifico, il coefficiente di perdita è assunto pari a 0,08, mentre il coefficiente di recupero è assunto pari a 0,5. Attraverso tali coefficienti è possibile quindi valutare le dispersioni ed i conseguenti recuperi termici del sottosistema in considerazione.

Le perdite di distribuzione del circuito primario (circuito di collegamento serbatoio-generatore) si considerano trascurabili, in quanto la distanza tra il serbatoio ed il generatore risulta nell'edificio in considerazione inferiore a 5 metri.

Per la valutazione delle perdite del sottosistema di accumulo, si considerano secondo UNI/TS 11300-2 sia le dimensioni che le caratteristiche della superficie disperdente dell'accumulatore, a differenza della valutazione dinamica, per la quale è necessario definire solo le dimensioni del serbatoio. Di seguito si riportano le caratteristiche tecniche dei serbatoi di accumulo.

La temperatura media dell'acqua nel sistema di accumulo è pari a 39,75 °C, mentre la temperatura media dell'ambiente nel quale l'impianto è posizionato è pari a 22 °C:

- Bruciatore 1 → serbatoio di 1 m³ di volume, superficie disperdente di 0,5 m²;
- Bruciatore 2 → serbatoio di 2 m³ di volume, superficie disperdente di 1 m²;
- Bruciatore 3 → serbatoio di 0,5 m³ di volume, superficie disperdente di 0,25 m².

Il materiale isolante utilizzato è la lana di roccia ($\lambda = 0,04 \text{ W/m}^2\text{K}$) dello spessore di 0,03 m.

Essendo l'accumulatore installato in ambiente a temperatura costante pari a 22 °C, le dispersioni termiche possono essere considerate tutte recuperabili durante il periodo di riscaldamento; questo presuppone un fabbisogno di energia per la produzione di ACS differente a seconda della durata

del periodo di riscaldamento; dalla valutazione ottenuta in caso di simulazione dinamica, il fabbisogno energetico per ACS per le città di Torino e di Palermo risultava invece il medesimo.

Da quanto appena affermato emerge la necessità in caso di valutazione da UNI/TS 11300, di suddivisione del periodo di calcolo in invernale ed estivo, in funzione della durata del periodo di riscaldamento per legge, definita dal D.P.R. 412/93. Di seguito (tabella 3.2.27) si riporta il sunto delle dispersioni ($Q_{l,w}$) e dei possibili recuperi termici ($Q_{lrh,w}$) riferiti ai sottosistemi di erogazione (pedice “er”), distribuzione (pedice “d”) ed accumulo (pedice “s”) dei tre impianti di produzione ACS dell’edificio, distinti per la città di Torino e di Palermo.

Tabella 3.2.27 – Dispersioni e recuperi termici dei sottosistemi di erogazione, distribuzione ed accumulo dei tre impianti di produzione di acqua calda sanitaria, secondo UNI/TS 11300-2.

		TORINO			PALERMO		
		BRUCIATORE			BRUCIATORE		
		1	2	3	1	2	3
$Q_{h,w}$ [kWh]		11241	25789	5510	11241	25789	5510
$Q_{l,w,er}$ [kWh]	invernale	297	681	145	196	450	96
	estivo	295	677	145	395	907	194
$Q_{l,w,d}$ [kWh]	invernale	475	1089	233	314	720	154
	estivo	472	1083	231	633	1452	310
$Q_{lrh,w,d}$ [kWh]	invernale	237	544	116	157	360	77
	estivo	0	0	0	0	0	0
$Q_{l,w,s}$ [kWh]	invernale	52	104	26	34	69	17
	estivo	52	103	26	69	139	35
$Q_{lrh,w,s}$ [kWh]	invernale	52	104	26	34	69	17
	estivo	0	0	0	0	0	0
$Q_{l,w}$ [kWh]	invernale	534	1225	262	353	810	173
	estivo	819	1863	402	1098	2498	539

Con riferimento al sottosistema di generazione, l’approccio al calcolo delle dispersioni termiche secondo UNI/TS 11300-2 prevede, in caso di impianto di produzione ACS dedicato con proprio generatore di calore, due casi:

- impianto centralizzato di produzione di acqua calda sanitaria a servizio di più unità immobiliari;
- impianto autonomo di produzione per singola unità immobiliare.

Il caso specifico dell’edificio a torre è stato quindi assimilato al caso b), mentre il rendimento è stato preso pari a 80%, come dichiarato da progetto. Il fabbisogno di energia primaria per la produzione di ACS risulta quindi pari a quanto riportato in tabella 3.2.34.

RISULTATI DELLE SIMULAZIONI

Di seguito si riportano i valori mensili del fabbisogno di energia termica per il riscaldamento ed il raffrescamento per le città di Torino e di Palermo, valutati sia in presenza, sia in assenza di schermature solari (tabelle da 3.2.28 a 3.2.31). Come già evidenziato in caso di valutazione dinamica, dai dati per singola città, si nota subito come l’inserimento delle schermature solari comporti un aumento del fabbisogno termico per il riscaldamento – causato dalla riduzione degli apporti solari gratuiti in ambiente – ma ancor più una elevata riduzione (valori ridotti di un terzo circa) del fabbisogno termico estivo, sia per la città di Torino, sia per la città di Palermo. Il confronto in presenza ed in assenza di schermature solari è stato fatto per ogni città considerando il fabbisogno termico mensile totale dell’edificio (figure dalla 3.2.23 alla 3.2.26).

Come è possibile notare, l’incremento del fabbisogno di energia termica dovuto all’utilizzo di schermature durante i mesi invernali, è irrisorio se confrontato con la riduzione del fabbisogno di energia termica dovuta all’utilizzo di schermature solari durante i mesi estivi. Tale riduzione è inoltre tanto più ingente quanto più le condizioni climatiche esterne necessitano un utilizzo delle schermature medesime. Si osserva inoltre che sia per la città di Torino, sia per la città di Palermo, il maggiore scostamento tra i risultati riferiti al fabbisogno termico per il raffrescamento in presenza ed in assenza di schermature, si verifica durante i mesi estivi. Si evidenzia quindi nuovamente che

quanto più le zone climatiche risultano caratterizzate da temperature annuali miti ed elevata irradianza solare, tanto più è necessario che il modello di valutazione semplificata della norma UNI/TS 11300 consideri correttamente l'influenza delle schermature solari.

Si ricorda infine che l'edificio considerato è dotato di impianto centralizzato atto al riscaldamento ed al raffrescamento ambiente, nonché al trattamento dell'aria durante le ore di utilizzo dello stabile; per questo motivo i risultati riportati nelle successive figure (3.2.23 – 3.2.26) e tabelle (3.2.28 – 3.2.31) considerano come carico di ventilazione la sola quota dovuta alle infiltrazioni, durante i giorni e le ore di non utilizzo dell'edificio.

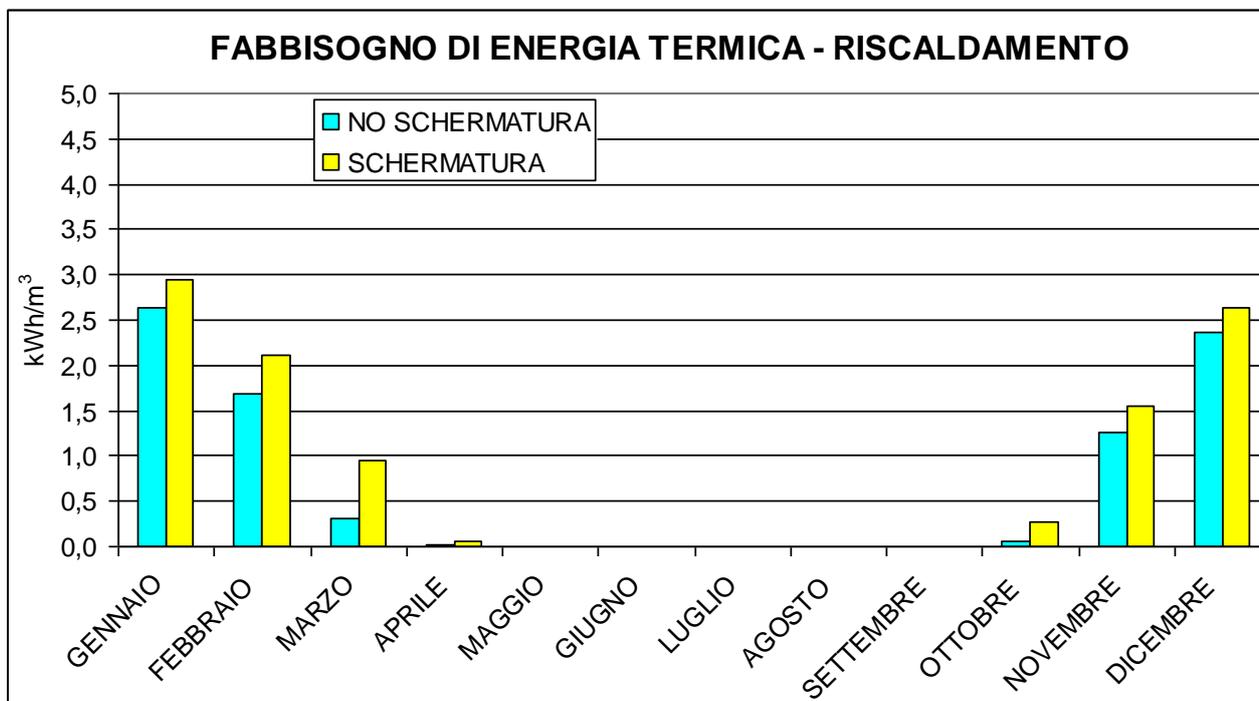


Figura 3.2.23 – Fabbisogno di energia termica per il riscaldamento, in presenza ed in assenza di schermature solari, per la città di Torino.

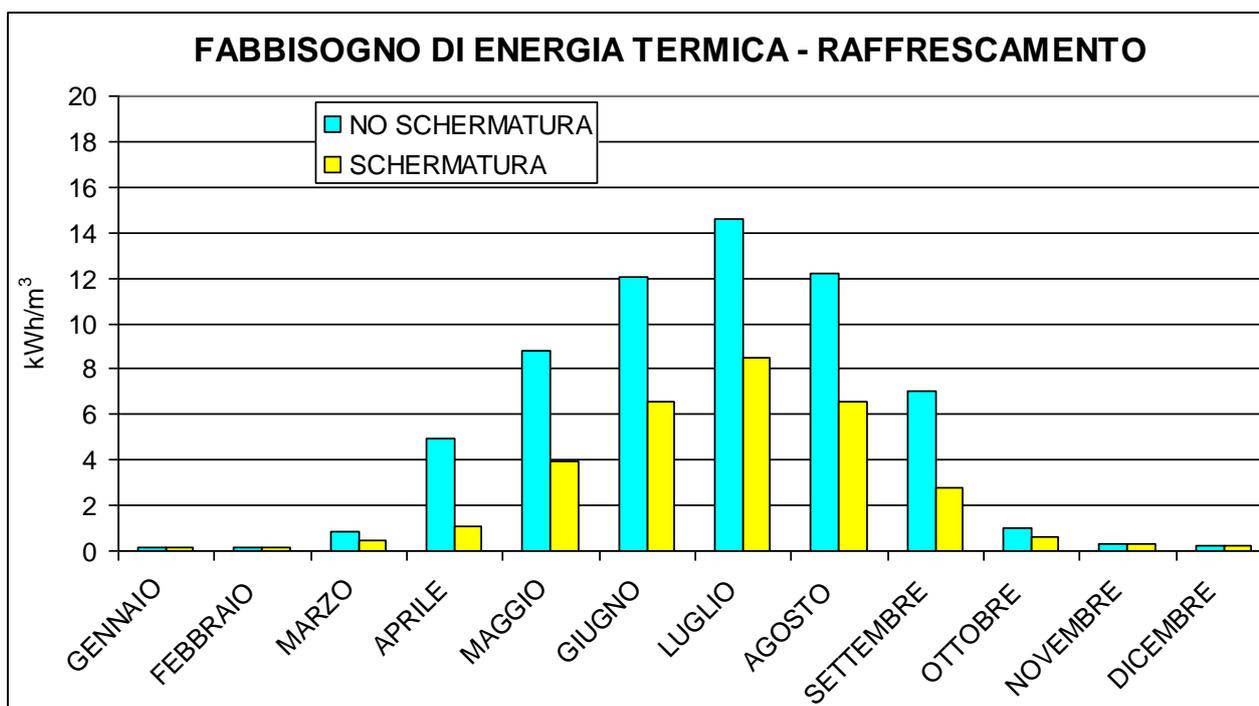


Figura 3.2.24 – Fabbisogno di energia termica per il raffrescamento, in presenza ed in assenza di schermature solari, per la città di Torino.

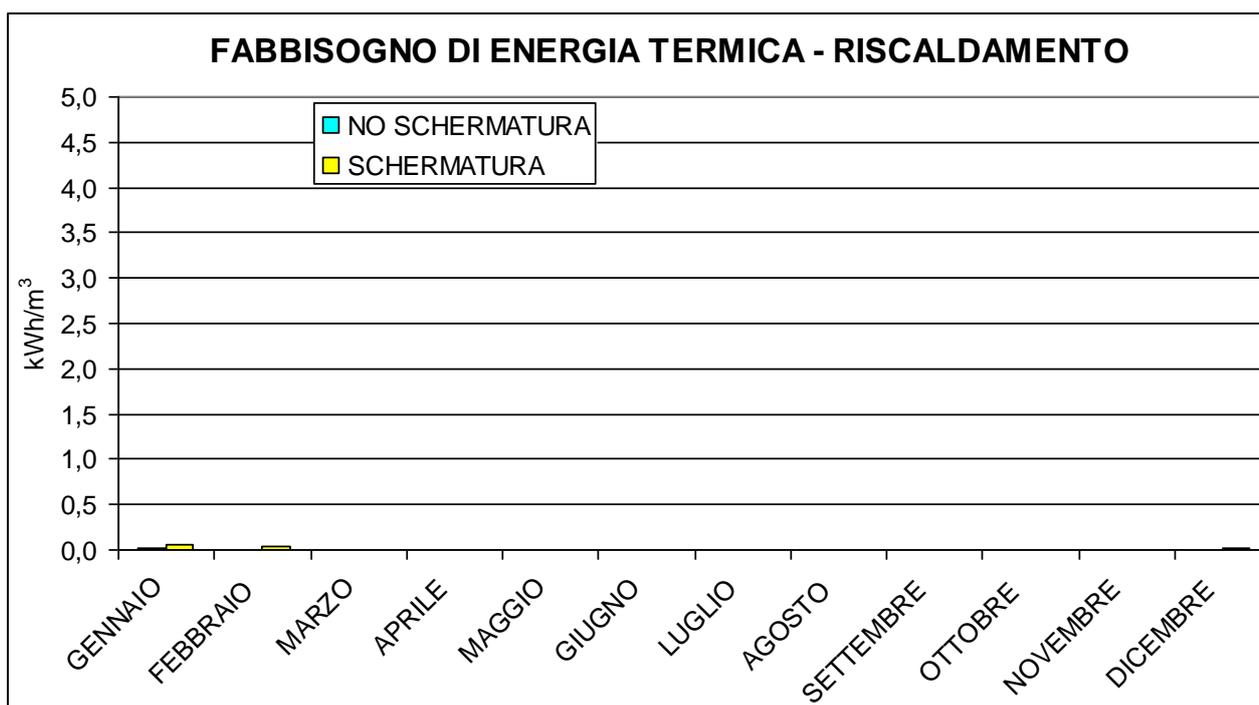


Figura 3.2.25 – Fabbisogno di energia termica per il riscaldamento, in presenza ed in assenza di schermature solari, per la città di Palermo.

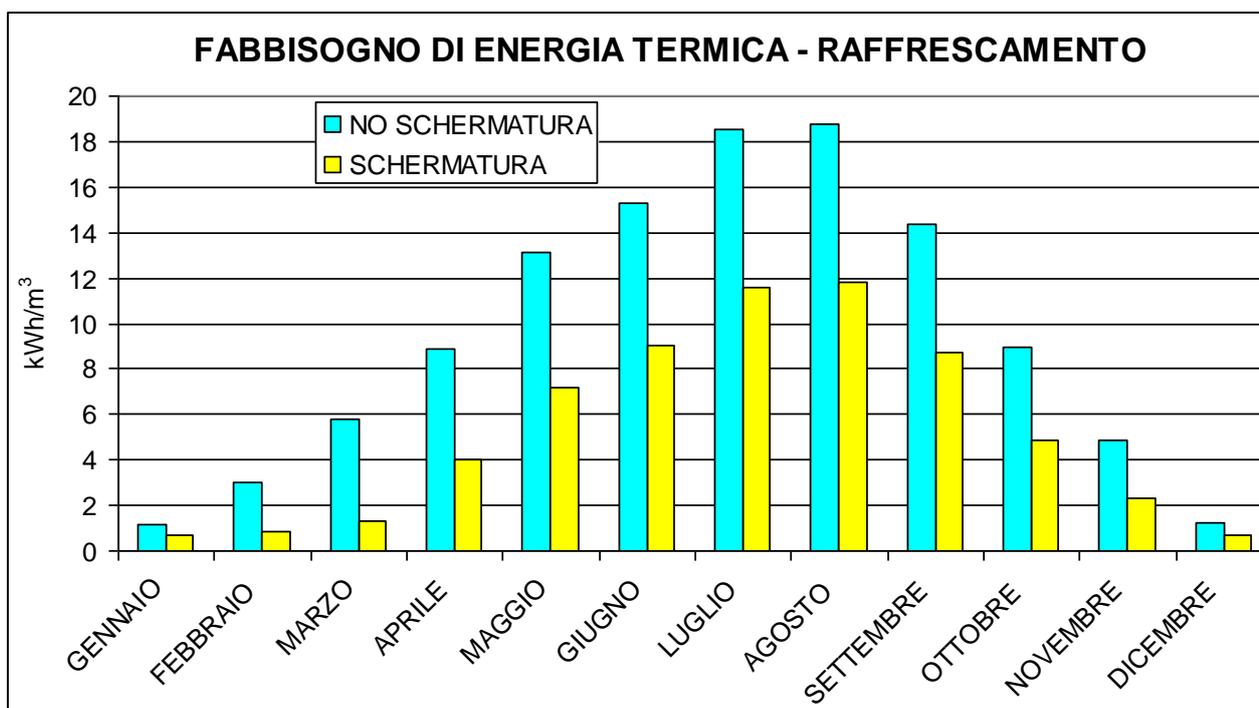


Figura 3.2.26 – Fabbisogno di energia termica per il raffrescamento, in presenza ed in assenza di schermature solari, per la città di Palermo.

Tabella 3.2.28 – Fabbisogno termico utile di riscaldamento $Q_{H,nd}$ e di raffrescamento $Q_{C,nd}$ per singola zona termica e totale in presenza di schermature esterne, per la città di Torino.

		ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3	ZONA 4	ZONA 5	ZONA 6	ZONA 7	CORRIDOIO	BAGNO 1	BAGNO 2	SCALE	TOT
$Q_{H,nd}$	kWh	53529	50353	62449	110925	82210	117362	83159	46508	4089	5247	0	615831
	kWh/m ³	23,8	11,4	20,2	13,0	21,3	17,6	11,7	5,1	1,1	1,3	0	11,7
	kWh/m ²	68,9	33,2	58,6	37,8	61,7	51,0	33,8	14,7	3,1	3,9	0	33,8
$Q_{C,nd}$	kWh	40319	53633	44430	77478	39828	71361	54491	31231	35375	38399	0	486546
	kWh/m ³	17,9	12,2	14,4	9,1	10,3	10,7	7,6	3,4	9,1	9,9	0	9,2
	kWh/m ²	51,9	35,4	41,7	26,4	29,9	31,0	22,2	9,9	26,4	28,6	0	26,7

Tabella 3.2.29 – Fabbisogno termico utile di riscaldamento $Q_{H,nd}$ e di raffrescamento $Q_{C,nd}$ per singola zona termica e totale in assenza di schermature esterne, per la città di Torino.

		ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3	ZONA 4	ZONA 5	ZONA 6	ZONA 7	CORRIDOIO	BAGNO 1	BAGNO 2	SCALE	TOT
$Q_{H,nd}$	kWh	34847	20011	40417	69012	59890	88947	67690	48443	2416	2427	0	434102
	kWh/m ³	15,5	4,5	13,1	8,1	15,5	13,3	9,5	5,3	0,6	0,6	0	8,2
	kWh/m ²	44,8	13,2	38,0	23,5	45,0	38,7	27,5	15,3	1,8	1,8	0	23,8
$Q_{C,nd}$	kWh	81487	115187	88919	160304	66418	109645	150226	28602	32987	32981	0	866755
	kWh/m ³	36,2	26,2	28,8	18,9	17,2	16,4	21,1	3,1	8,5	8,5	0	16,4
	kWh/m ²	104,9	75,9	83,5	54,7	49,9	47,7	61,1	9,0	24,6	24,6	0	47,6

		RIST+BAGNO2	CAFFETTERIA	NEG+BAGNO1									TOT	
$Q_{H,nd}$	kWh	8908		2761		10108								21777
	kWh/m ³	11,1		9		12,6								11,4
	kWh/m ²	32,3		26		36,6								33,1
$Q_{C,nd}$	kWh	37508		12137		32421								82067
	kWh/m ³	46,9		8,9		40,5								43,0
	kWh/m ²	135,9		25,8		117,5								124,6

Tabella 3.2.30 – Fabbisogno termico utile di riscaldamento $Q_{H,nd}$ e di raffrescamento $Q_{C,nd}$ per singola zona termica e totale in presenza di schermature esterne, per la città di Palermo.

		ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3	ZONA 4	ZONA 5	ZONA 6	ZONA 7	CORRIDOIO	BAGNO 1	BAGNO 2	SCALE	TOT
$Q_{H,nd}$	kWh	591	469	486	648	850	930	800	49620	155	155	0	54703
	kWh/m ³	0,3	0,1	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1	5,4	0,0	0,0	0	1,0
	kWh/m ²	0,8	0,3	0,5	0,2	0,6	0,4	0,3	15,7	0,1	0,1	0	3,0
$Q_{C,nd}$	kWh	53307	77459	68160	143158	75918	123373	113855	67086	47883	47862	0	818060
	kWh/m ³	23,7	17,6	22,1	16,8	19,7	18,5	16,0	7,3	12,3	12,3	0	15,5
	kWh/m ²	68,6	51,1	64,0	48,8	57,0	53,7	46,3	21,2	35,7	35,7	0	44,9

Tabella 3.2.31 – Fabbisogno termico utile di riscaldamento $Q_{H,nd}$ e di raffrescamento $Q_{C,nd}$ per singola zona termica e totale in assenza di schermature esterne, per la città di Palermo.

		ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3	ZONA 4	ZONA 5	ZONA 6	ZONA 7	CORRIDOIO	BAGNO 1	BAGNO 2	SCALE	TOT
$Q_{H,nd}$	kWh	0	0	0	0	453	548	22	1111	155	155	0	2445
	kWh/m ³	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0	0,0
	kWh/m ²	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,2	0,0	0,4	0,1	0,1	0	0,1
$Q_{C,nd}$	kWh	147636	215747	168316	302285	121814	197324	280637	67086	47883	47862	0	1596590
	kWh/m ³	65,5	49,0	54,5	35,6	31,5	29,6	39,4	7,3	12,3	12,3	0	30,2
	kWh/m ²	190,0	142,2	158,0	103,1	91,4	85,8	114,1	21,2	35,7	35,7	0	87,6

		RIST+BAGNO2	CAFFETTERIA	NEG+BAGNO1									TOT
$Q_{H,nd}$	kWh	0	0	0									0
	kWh/m ³	0,0	0	0,0									0,0
	kWh/m ²	0,0	0	0,0									0,0
$Q_{C,nd}$	kWh	61695	21345	53733									136773
	kWh/m ³	77,1	0,0	67,1									71,6
	kWh/m ²	223,6	0,0	194,7									207,6

Di seguito (figure 3.2.27 – 3.2.30, tabelle 3.2.32 e 3.2.33) si riportano i risultati riferiti al fabbisogno di energia primaria per riscaldamento e raffrescamento dell'edificio valutati applicando le specifiche tecniche UNI/TS 11300 parti 2 e 3, ottenuti associando al fabbisogno termico valutato applicando la UNI/TS 11300-1 (figure 3.2.23 – 3.2.26) l'impianto di condizionamento. Le figure riportano per ogni mese il fabbisogno di energia primaria in kWh/m³, in assenza ed in presenza di schermature solari (per ogni mese, la prima barra dai colori più tenui rappresenta il caso di assenza di schermature solari, la seconda barra dai colori più accesi, il caso di utilizzo degli schermi). Ogni barra dell'istogramma riporta in colore differente, sia nel caso si considerino le schermature solari sia nel caso di assenza delle medesime, la quota parte di fabbisogno riferita al sistema edificio e la quota parte riferita al sistema impianto.

Dai risultati è possibile osservare che il fabbisogno di energia dell'edificio è legato principalmente alle perdite del sistema impiantistico, sia in caso di riscaldamento sia in caso di raffrescamento dell'edificio, indipendentemente dalle condizioni climatiche esterne (città di Torino o Palermo).

La presenza di schermature solari comporta durante il periodo di riscaldamento per la città di Torino, un incremento del fabbisogno termico che per ogni mese è di circa 3 kWh/m³. A differenza di quanto riscontrato per Torino, l'inserimento di schermature solari per la città di Palermo comporta durante il periodo invernale una riduzione del fabbisogno energetico: tale risultato può essere spiegato se si osserva la figura 3.2.30, la quale evidenzia la necessità di raffrescare anche durante il periodo invernale..

Con riferimento all'utilizzo di schermature solari durante il periodo estivo, le figura 3.2.28 e 3.2.30 mostrano come sia per la città di Torino, sia per la città di Palermo tale strategia comporti una riduzione della quota parte del fabbisogno energetico riferita al sistema edilizio, mentre la quota parte riferita al sistema impiantistico rimane pressoché la medesima.

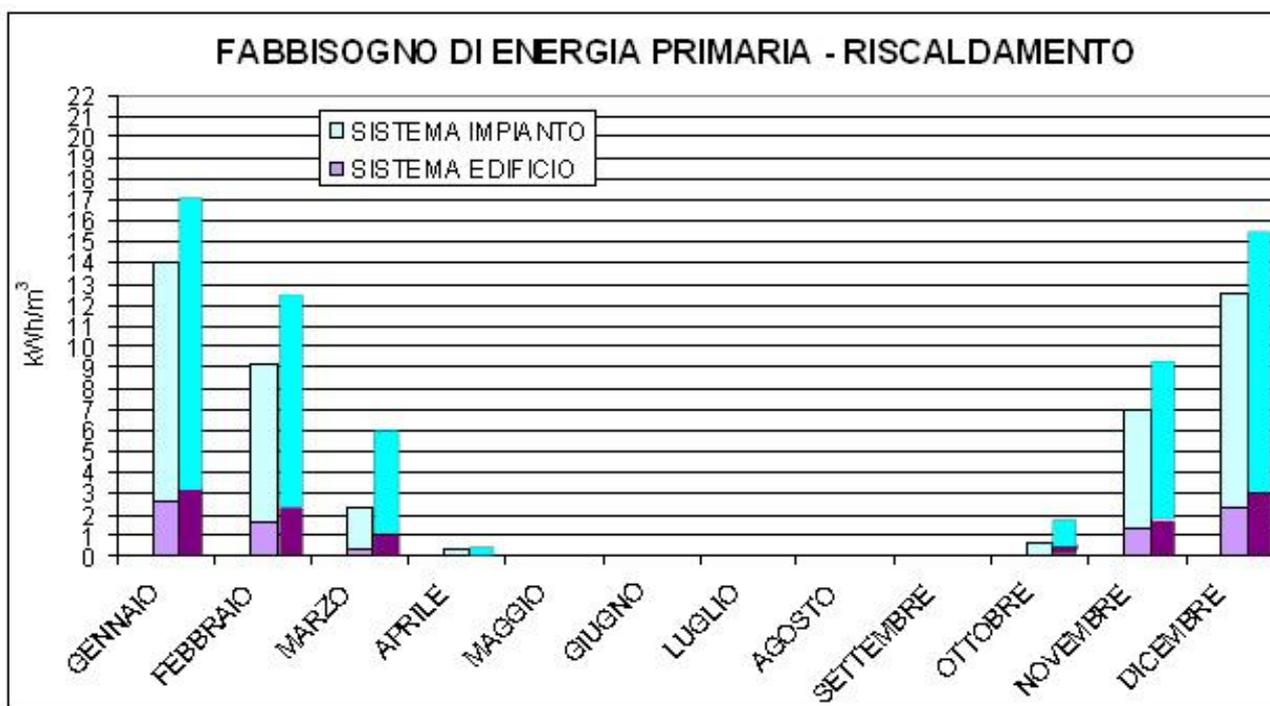


Figura 3.2.27 – Fabbisogno di energia primaria per il riscaldamento, in presenza ed in assenza di schermature solari, per la città di Torino, in applicazione delle specifiche tecniche UNI/TS.

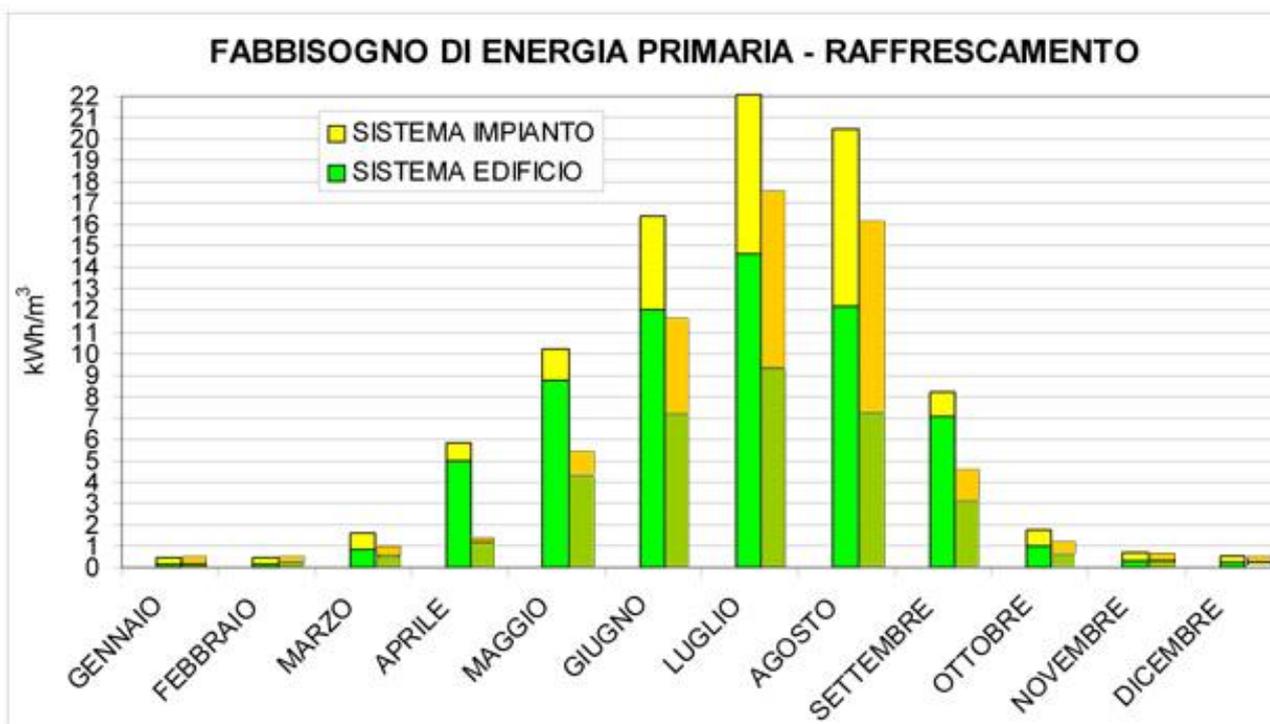


Figura 3.2.28 – Fabbisogno di energia primaria per il raffrescamento, in presenza ed in assenza di schermature solari, per la città di Torino, in applicazione delle specifiche tecniche UNI/TS.

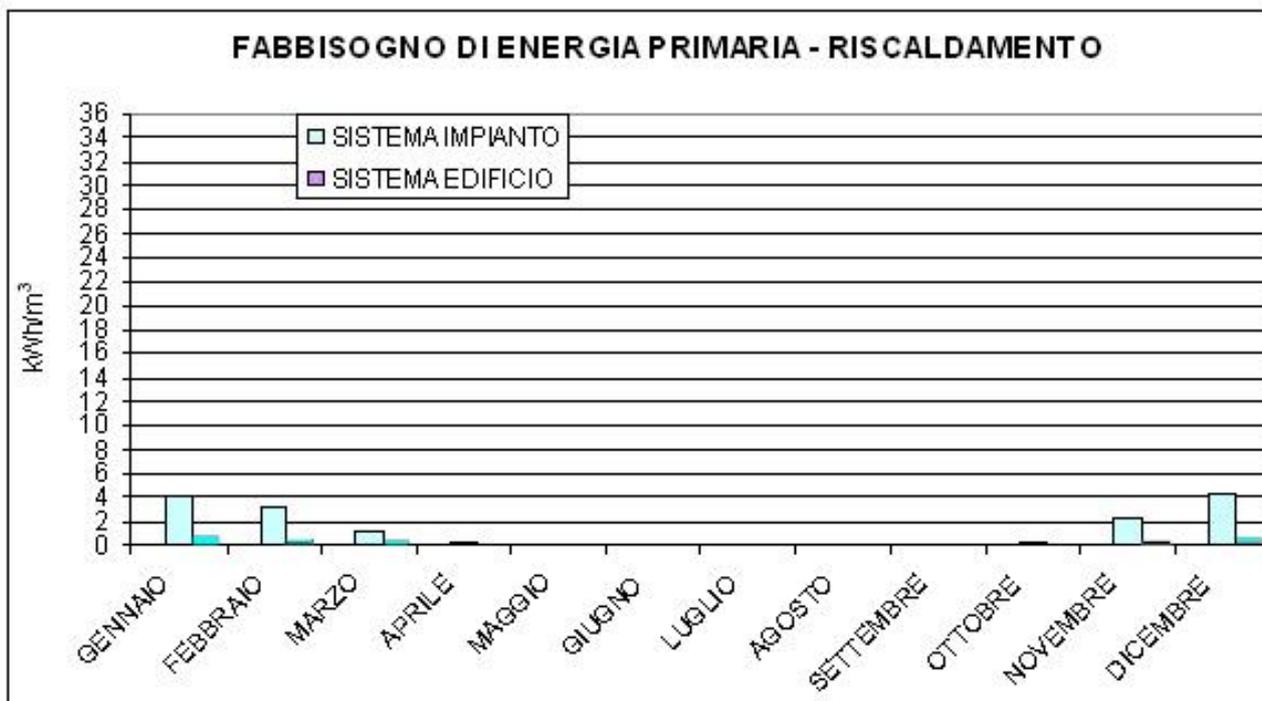


Figura 3.2.29 – Fabbisogno di energia primaria per il riscaldamento, in presenza ed in assenza di schermature solari, per la città di Palermo, in applicazione delle specifiche tecniche UNI/TS.

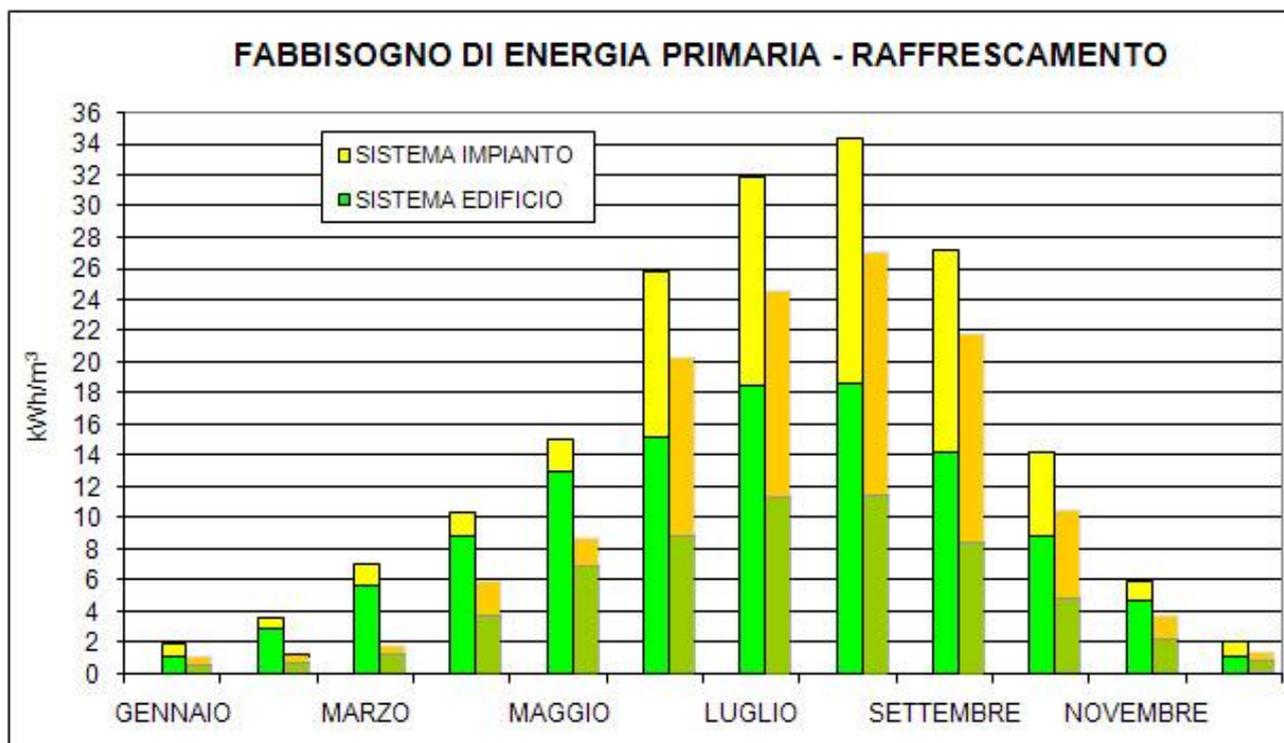


Figura 3.2.30 – Fabbisogno di energia primaria per il raffrescamento, in presenza ed in assenza di schermature solari, per la città di Palermo, in applicazione delle specifiche tecniche UNI/TS.

Tabella 3.2.32 – Fabbisogno mensile ed annuale di energia primaria per il riscaldamento ed il riscaldamento dell'intero edificio, in presenza ed in assenza di schermature esterne, per la città di Torino, in applicazione delle specifiche tecniche UNI/TS. Valori in kWh/m³.

	RISCALDAMENTO		RAFFRESCAMENTO	
	NO SCHERMATURA	SCHERMATURA	NO SCHERMATURA	SCHERMATURA
GENNAIO	14,04	15,52	0,49	0,49
FEBBRAIO	9,19	11,31	0,49	0,49
MARZO	2,37	5,43	1,59	0,88
APRILE	0,35	0,49	5,85	1,25
MAGGIO	0,00	0,00	10,20	4,98
GIUGNO	0,00	0,00	16,43	10,66
LUGLIO	0,00	0,00	22,11	16,05
AGOSTO	0,00	0,00	20,43	14,77
SETTEMBRE	0,00	0,00	8,19	4,20
OTTOBRE	0,58	1,47	1,77	1,09
NOVEMBRE	7,00	8,39	0,65	0,65
DICEMBRE	12,54	13,86	0,52	0,52
TOTALE ANNUALE	46,08	56,47	88,71	56,03

Tabella 3.2.33 – Fabbisogno mensile ed annuale di energia primaria per il riscaldamento ed il raffrescamento dell'intero edificio, in presenza ed in assenza di schermature esterne, per la città di Palermo, in applicazione delle specifiche tecniche UNI/TS. Valori in kWh/m³.

	RISCALDAMENTO		RAFFRESCAMENTO	
	NO SCHERMATURA	SCHERMATURA	NO SCHERMATURA	SCHERMATURA
GENNAIO	4,00	0,80	2,10	1,22
FEBBRAIO	3,16	0,58	3,73	1,38
MARZO	1,21	0,52	7,18	1,96
APRILE	0,22	0,17	10,47	6,14
MAGGIO	0,00	0,00	15,16	8,97
GIUGNO	0,00	0,00	25,86	20,67
LUGLIO	0,00	0,00	32,00	25,10
AGOSTO	0,00	0,00	34,51	27,60
SETTEMBRE	0,00	0,00	27,26	22,34
OTTOBRE	0,19	0,03	14,28	10,65
NOVEMBRE	2,25	0,21	6,02	3,79
DICEMBRE	4,16	0,53	2,15	1,27
TOTALE ANNUALE	15,18	2,84	180,73	131,09

Di seguito (tabella 3.2.34) si riportano i risultati dei calcoli effettuati in applicazione della UNI/TS 11300-2 per la determinazione dell'energia primaria necessaria alla produzione di ACS, riferita all'intero edificio a torre. I calcoli sono stati fatti su base annua, distinguendo il periodo di riscaldamento e di raffrescamento, al fine di tenere in corretta considerazione i possibili recuperi termici.

Tabella 3.2.34 – Fabbisogno di energia primaria dei tre impianti di produzione di acqua calda sanitaria, secondo UNI/TS 11300-2.

		TORINO			PALERMO		
		BRUCIATORE			BRUCIATORE		
		1	2	3	1	2	3
$Q_{h,W}$ [kWh]	invernale	5636	12930	2762	3726	8549	1826
	estivo	5605	12859	2747	7514	17240	3683
$Q_{l,W}$ [kWh]	invernale	534	1225	262	353	810	173
	estivo	819	1863	402	1098	2498	539
EFFICIENZA DI GENERAZIONE		0,8					
$Q_{l,W,g}$ [kWh]	invernale	1542	3539	756	1020	2340	500
	estivo	1606	3681	787	2153	4934	1055
$Q_{p,W}$ [kWh]	invernale	7712	17693	3780	5099	11699	2499
	estivo	8030	18403	3936	10765	24672	5277
$Q_{p,W}$ [kWh]	annuale	15742	36096	7716	15864	36371	7777
$Q_{p,W}$ [kWh]	annuale	59554			60011		
$Q_{p,W}$ [kWh/m ³]	annuale	1,09			1,10		

3.2.4 Analisi di sensibilità sulle deviazioni dei risultati

Si procede ora col confronto tra i risultati ottenuti attraverso la valutazione dinamica e l'applicazione del modello semplificato della UNI/TS 11300-1.

Dall'analisi dei risultati relativi alla città di Torino, si evince come in caso di valutazione invernale (figura 3.2.31) il modello semplificato sovrastimi il fabbisogno termico: tale sovrastima è accentuata durante i mesi più freddi dell'anno e tende a ridursi nei mesi primaverili ed autunnali, fino a divenire nei mesi di Aprile e di Ottobre una sottostima. Distinguendo gli scostamenti mensili ottenuti in presenza ed in assenza di schermature solari, si nota inoltre che le deviazioni maggiori tra i due modelli di calcolo si ottengono in caso di utilizzo della schermatura (riduzione degli apporti solari gratuiti). In ogni caso gli scostamenti non sono mai superiori a 1,5 kWh/m³.

Considerando i risultati relativi al periodo di raffrescamento per la città di Torino (figura 3.2.32), si osserva una ingente sovrastima del fabbisogno termico da parte del modello semplificato: la sovrastima è accentuata durante i mesi più caldi dell'anno e tende a ridursi nei mesi primaverili ed autunnali. Distinguendo gli scostamenti mensili ottenuti in presenza ed in assenza di schermature solari, si osservi come nei mesi da Aprile a Settembre in assenza di schermature, il modello semplificato tende a sovrastimare maggiormente il fabbisogno termico, raggiungendo scostamenti anche superiori a 11 kWh/m³ nel mese di agosto; durante i mesi da Ottobre a Dicembre e da Gennaio a Marzo invece, la deviazione tra i due modelli di calcolo risulta costante sia in presenza sia in assenza di schermature solari, ed il valore di tale scostamento è inferiore a 1 kWh/m³.

Quanto riscontrato per Torino, può ritenersi corretto anche considerando i risultati ottenuti per la città di Palermo (figure 3.2.33 e 3.2.34). In questo caso però durante il periodo di riscaldamento si riscontra una sottostima del fabbisogno termico, sebbene comunque pur sempre irrisoria, da parte del modello semplificato; in caso di raffrescamento inoltre, gli scostamenti tra i due modelli risultano maggiori non solo durante i mesi estivi (superiori a 14 kWh/m³ per il mese di Agosto), facendo riscontrare valori che per i mesi di Marzo ed Ottobre si aggirano attorno a 5 e 7 kWh/m³; tale fenomeno è maggiormente accentuato in caso di simulazioni in assenza di schermature solari.

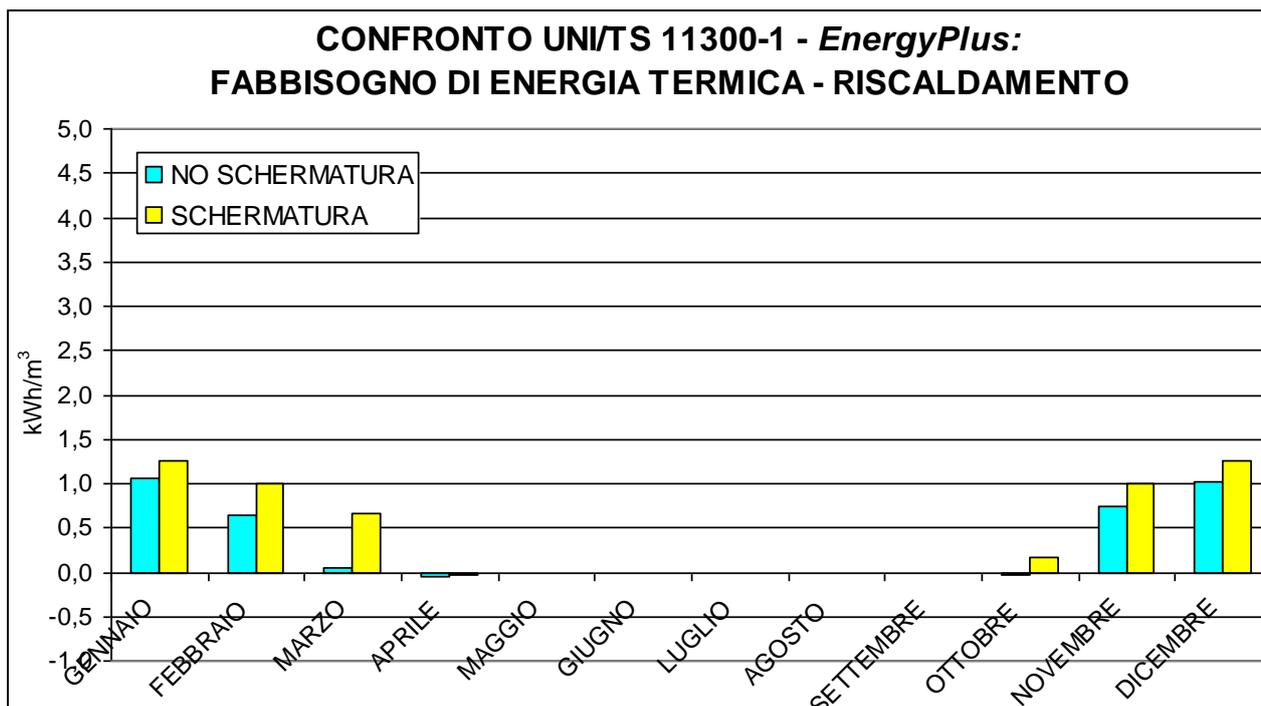


Figura 3.2.31 – Differenza tra il fabbisogno di energia termica per il riscaldamento, in presenza ed in assenza di schermature solari, calcolato rispettivamente applicando il modello semplificato (UNI/TS 11300-1) e dettagliato (*EnergyPlus*): città di Torino.

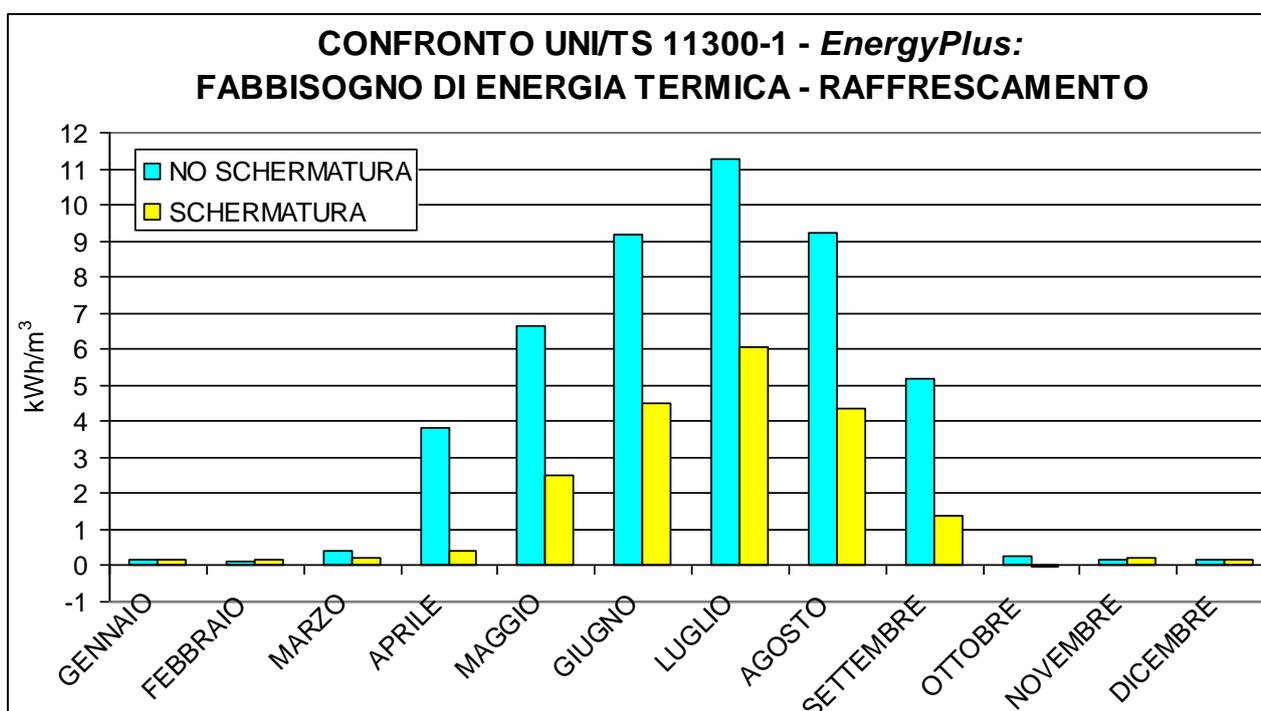


Figura 3.2.32 – Differenza tra il fabbisogno di energia termica per il raffrescamento, in presenza ed in assenza di schermature solari, calcolato rispettivamente applicando il modello semplificato (UNI/TS 11300-1) e dettagliato (*EnergyPlus*): città di Torino.

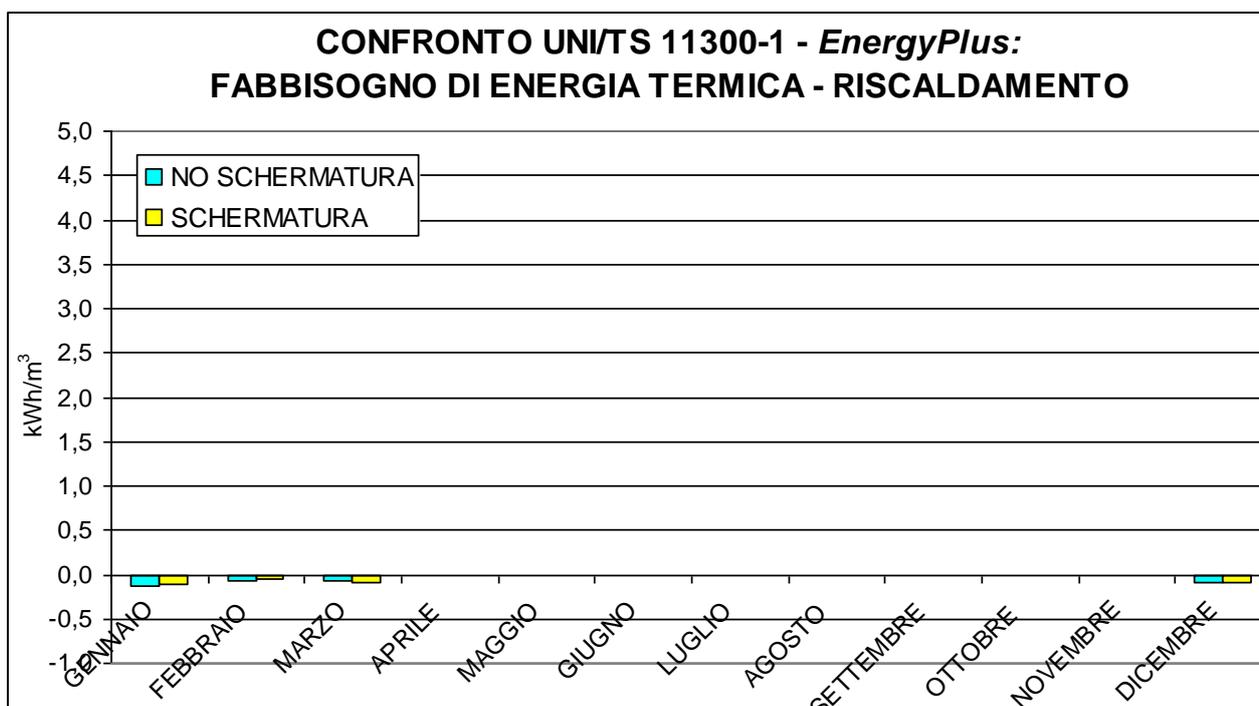


Figura 3.2.33 – Differenza tra il fabbisogno di energia termica per il riscaldamento, in presenza ed in assenza di schermature solari, calcolato rispettivamente applicando il modello semplificato (UNI/TS 11300-1) e dettagliato (*EnergyPlus*): città di Palermo.

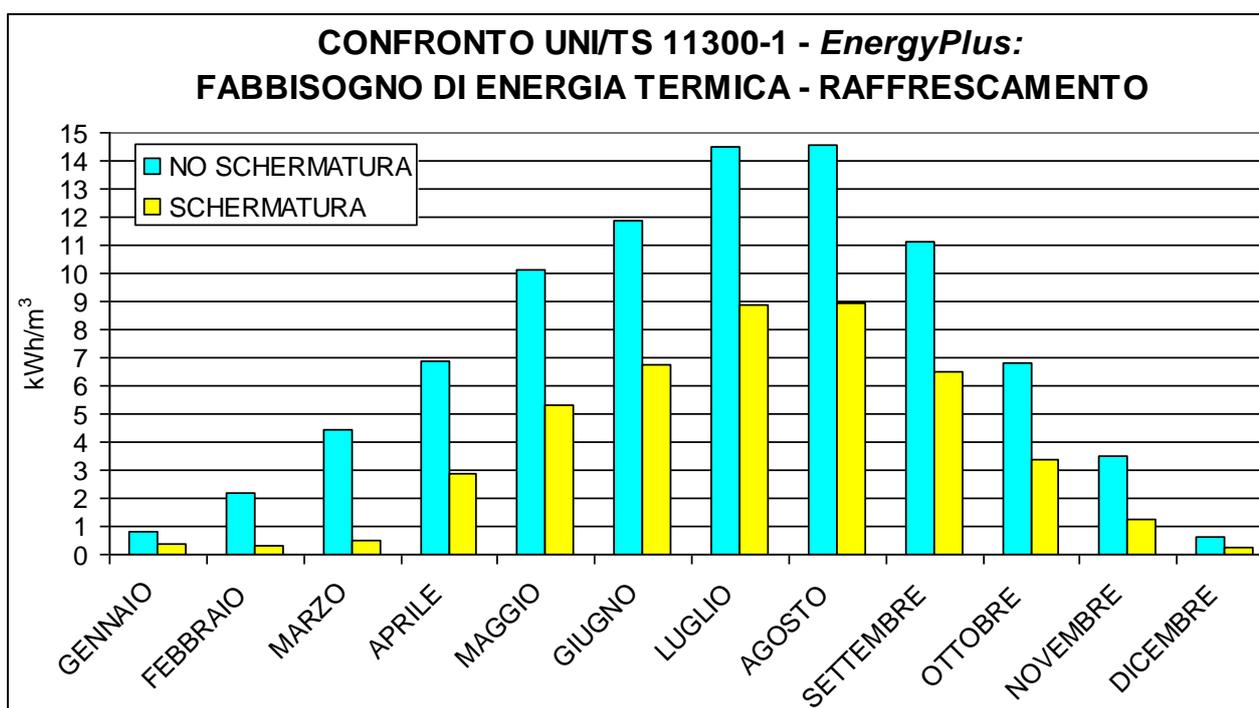


Figura 3.2.34 – Differenza tra il fabbisogno di energia termica per il raffrescamento, in presenza ed in assenza di schermature solari, calcolato rispettivamente applicando il modello semplificato (UNI/TS 11300-1) e dettagliato (*EnergyPlus*): città di Palermo.

In caso di utilizzo delle schermature solari, le deviazioni riscontrate tra i due modelli sono dovute ad una non corretta valutazione della riduzione degli apporti solari in ambiente, determinata in caso di modello semplificato attraverso il fattore di correzione $f_{sh,with}$, riferito alla città di Roma; inoltre, una ulteriore fonte di divergenza tra i risultati ottenuti può essere rappresentata dal fattore di esposizione, che considera la variazione del fattore solare per incidenza della radiazione solare non normale alla superficie: nel caso di modello semplificato esso risulta costante e pari a 0,9, mentre viene calcolato dinamicamente attraverso il modello dettagliato (*EnergyPlus*). In caso di non utilizzo delle schermature solari, le deviazioni riscontrate tra i due modelli sono invece dovute ad una non corretta valutazione delle riflessioni che la radiazione solare subisce in ambiente interno, a seguito delle quali parte della medesima viene ritrasmessa verso l'ambiente esterno, non concorrendo in questo modo al surriscaldamento dell'ambiente confinato.

In entrambi i casi – presenza ed assenza di schermatura solare – una concausa degli scostamenti tra modello semplificato e dettagliato risiede nella valutazione del fattore di utilizzazione η , applicato agli apporti termici gratuiti in caso di calcolo invernale, e delle dispersioni termiche in caso di calcolo estivo, sempre secondo UNI/TS 11300-1. A tal proposito si evidenzia come per la valutazione del fattore di utilizzazione delle dispersioni termiche (η_s), si sia reso necessario considerare il coefficiente a_c pari a zero: questa correzione, conforme alla *errata corrige* della UNI/TS 11300-1 pubblicata sul sito internet del Comitato Termotecnico Italiano (CTI) nel mese di agosto 2010, si rende necessaria nei casi in cui tale coefficiente risulterebbe negativo, condizione che si verifica in caso di elevate aree finestrate.

Un'ulteriore causa di deviazione tra i due modelli di calcolo analizzati è legata alla corretta valutazione dell'inerzia termica dell'edificio considerato.

Un'altra causa di deviazione è legata al calcolo della trasmissione termica col terreno.

Si ricorda inoltre che sussistono differenze di valutazione tra il modello semplificato e dettagliato anche per la valutazione degli apporti termici interni di tipo sensibile, distinti in caso di valutazione dinamica in radiativi e convettivi, ed entrambi considerati nel bilancio termico, mentre i medesimi si considerano per la totalità di tipo convettivo in caso di valutazione secondo UNI/TS 11300.

È quindi possibile concludere che, come sottolineato da studi e pubblicazioni scientifiche precedenti al presente lavoro⁴, l'utilizzo di modelli dinamici dettagliati per la valutazione delle prestazioni termiche dell'edificio, permette di considerare un più ampio numero di variabili che influenzano il fabbisogno termico, in caso di valutazione sia invernale, sia estiva; in particolare, la causa principale degli scostamenti di risultato tra i modelli di calcolo adottati, risiede nella differente metodologia di valutazione dell'effetto delle variabili dinamiche, nonché della capacità termica interna dell'edificio. Inoltre, la procedura di calcolo semplificata adottata è spesso soggetta ad una differente sensibilità alla complessità morfologica dell'edificio, definita in termini di rapporto tra superficie disperdente e volume lordo riscaldato, ovvero tra superficie disperdente (opaca o finestrata) e capacità termica interna, ecc..

Si evidenzia inoltre, a maggior ragione in caso di valutazione energetica di edifici complessi, l'importanza dell'utilizzo di un modello di calcolo basato su un'analisi oraria e non mensile, in modo da rendere possibile una più corretta definizione di quei parametri e coefficienti variabili ingentemente durante le 24 ore, come ad esempio l'irradianza solare incidente su di una superficie, il profilo di occupazione degli ambienti (in termini di apporti interni e ricambi d'aria), i coefficienti liminari di dispersione termica⁵, ecc..

⁴ v. Ballarini et. al. (2010).

⁵ Una sostanziale distinzione tra modellazione dinamica e calcolo semplificato risiede nella determinazione della trasmittanza termica dei componenti disperdenti: *EnergyPlus* infatti a partire dalla conduttanza termica degli elementi – definita utilizzando la resistenza termica di ogni strato costituente il componente inserita come dato in ingresso alla simulazione – valuta la trasmittanza termica adottando coefficienti liminari variabili ad ogni intervallo di tempo (15 minuti). Il fatto di considerare nella valutazione semplificata da normativa delle resistenze termiche liminari costanti, potrebbe comportare un'imprecisione nella valutazione del flusso termico per trasmissione.

Si passa ora alla comparazione dei risultati riferiti al fabbisogno di energia primaria per riscaldamento e raffrescamento, calcolati rispettivamente con *EnergyPlus* ed applicando le specifiche tecniche UNI/TS 11300 (figure da 3.2.35 a 3.2.38), per le città di Torino e Palermo.

In caso di simulazione energetica del periodo di riscaldamento per la città di Torino, si osserva una generale sovrastima da parte del modello semplificato, sovrastima che si evidenzia maggiormente in caso di presenza di schermature solari, e che tende a ridursi durante i mesi autunnali e primaverili. È possibile affermare che la differenza tra la sovrastima riferita al caso in assenza di schermature e la sovrastima riferita al caso in presenza di schermature, dipenda da una non corretta valutazione dei fattori di carico dell'impianto di riscaldamento, maggiormente accentuato nel caso in cui l'impianto lavora a carichi parziali o minimi. Si osserva che mentre in caso di confronto del fabbisogno di energia termica (figura 3.2.31) la sovrastima non supera $1,5 \text{ kWh/m}^3$, e può quindi essere ritenuta trascurabile, nella valutazione dell'energia primaria per riscaldamento, lo scostamento tra i modelli semplificato e dettagliato supera anche 9 kWh/m^3 .

Osservando i risultati per il periodo di riscaldamento della città di Palermo, si osserva nuovamente una sovrastima da parte del modello semplificato: tale sovrastima è maggiore se paragonata a quella riferita alla sola energia termica (figura 3.2.33) ed inoltre è maggiormente rilevante in caso di assenza di schermature solari, rilevando una inadeguatezza del modello semplificato nella valutazione del fattore di carico reale dell'impianto in caso di elevati apporti interni gratuiti durante il periodo di riscaldamento.

Contrariamente a quanto riscontrato per il riscaldamento, sia per Torino, sia per Palermo, il modello semplificato sottostima il fabbisogno energetico per il raffrescamento: tale sottostima si evidenzia maggiormente in caso di assenza di schermature solari. È possibile affermare che la differenza tra la sottostima riferita al caso in assenza di schermature e la sottostima riferita al caso in presenza di schermature, dipenda da una non corretta valutazione del sistema impiantistico da parte del modello semplificato. Si evidenzia inoltre per la città di Palermo, una controtendenza nei mesi di massimo fabbisogno estivo.

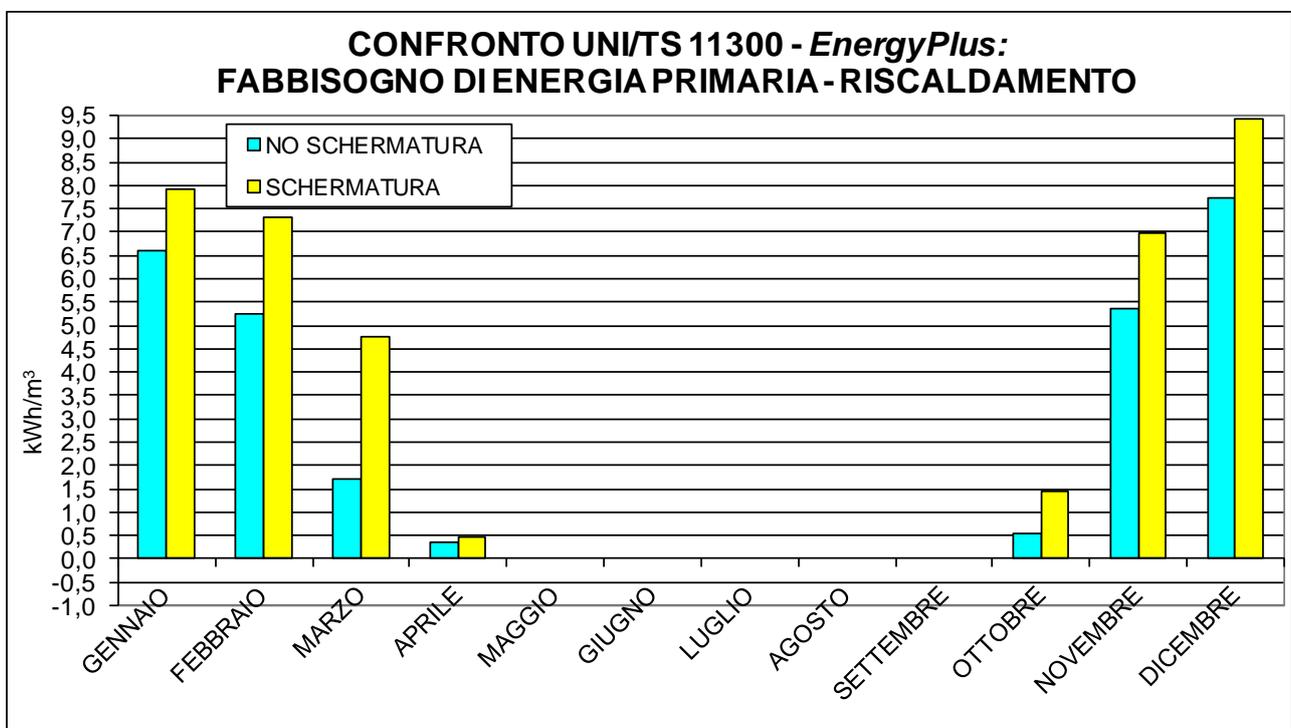


Figura 3.2.35 – Differenza tra il fabbisogno di energia primaria per il riscaldamento, in presenza ed in assenza di schermature solari, calcolato rispettivamente applicando il modello semplificato (UNI/TS 11300) e dettagliato (*EnergyPlus*): città di Torino.

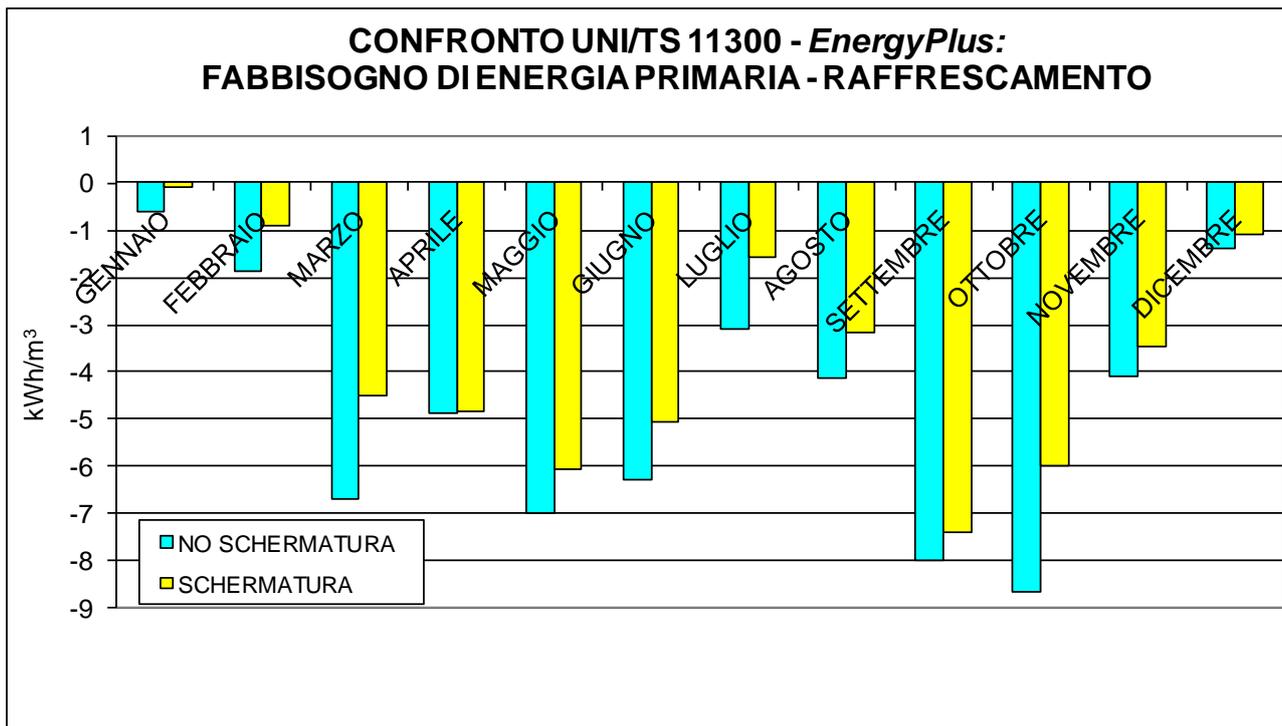


Figura 3.2.36 – Differenza tra il fabbisogno di energia primaria per il raffrescamento, in presenza ed in assenza di schermature solari, calcolato rispettivamente applicando il modello semplificato (UNI/TS 11300) e dettagliato (*EnergyPlus*): città di Torino.

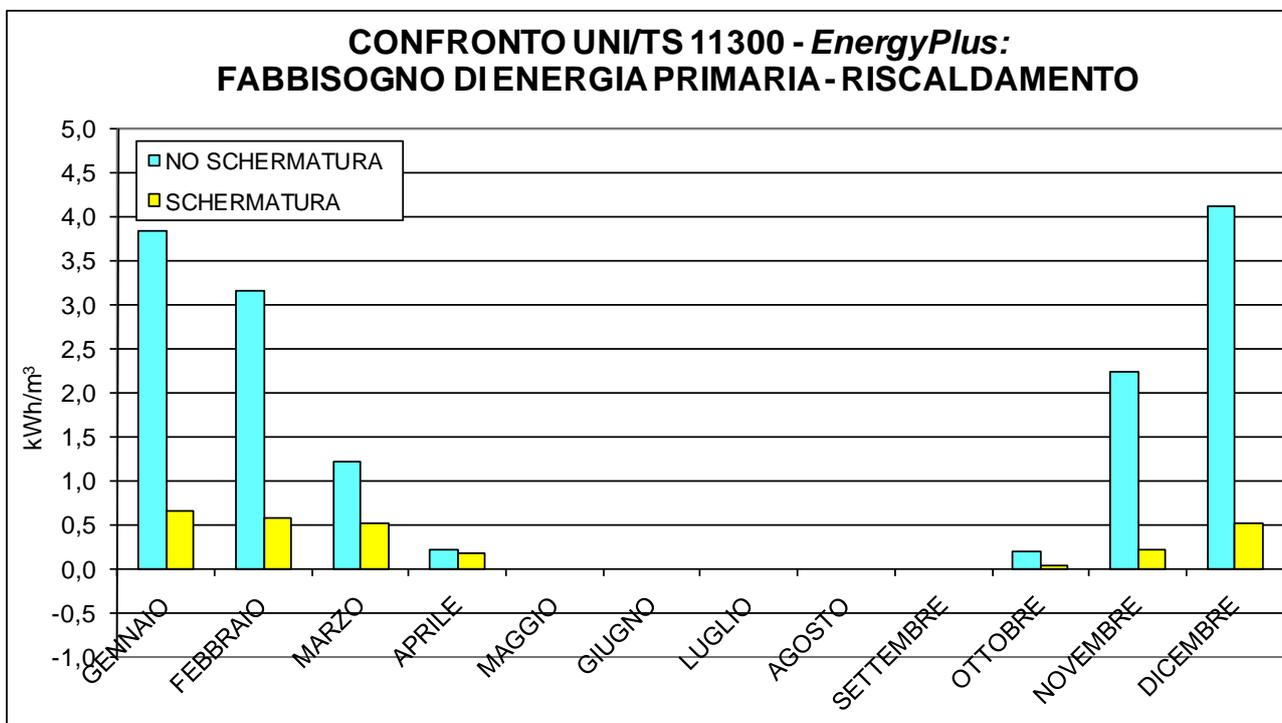


Figura 3.2.37 – Differenza tra il fabbisogno di energia primaria per il riscaldamento, in presenza ed in assenza di schermature solari, calcolato rispettivamente applicando il modello semplificato (UNI/TS 11300) e dettagliato (*EnergyPlus*): città di Palermo.

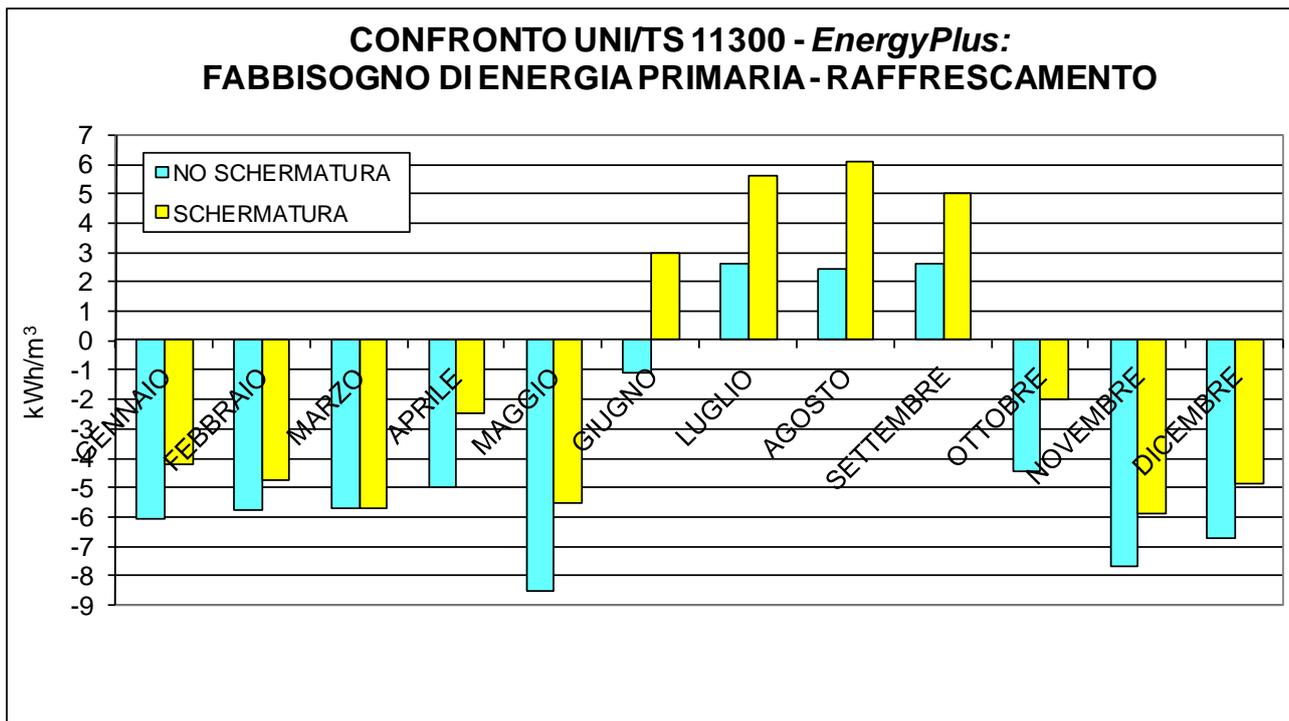


Figura 3.2.38 – Differenza tra il fabbisogno di energia primaria per il raffrescamento, in presenza ed in assenza di schermature solari, calcolato rispettivamente applicando il modello semplificato (UNI/TS 11300) e dettagliato (*EnergyPlus*): città di Palermo.

Con riferimento alla produzione di ACS, comparando i risultati ottenuti dal calcolo semplificato con quanto emerso dal calcolo dettagliato, si evince una tendenza alla sovrastima del fabbisogno di energia primaria da parte del modello semplificato, con particolare evidenza in caso di valutazione del fabbisogno di energia primaria per la città di Palermo. I motivi alla base di tale divergenza sono da riferirsi principalmente al grado di dettaglio sia dei dati in ingresso al calcolo, sia del calcolo, rispettivamente dettagliato e semplificato. Si evince inoltre un diverso approccio nella valutazione delle dispersioni termiche e degli eventuali recuperi.

In caso di valutazione dettagliata, vengono considerati solamente i recuperi termici riferiti al serbatoio di accumulo, dovuti all'utilizzo di ausiliari elettrici ed al posizionamento del medesimo in ambiente riscaldato o meno (perdite al mantello); in caso di valutazione semplificata invece, si considerano perdite recuperabili anche parte delle dispersioni del sottosistema di distribuzione, durante il periodo invernale.

In caso di valutazione semplificata, le dispersioni termiche durante il periodo estivo sono elevate se comparate al periodo invernale, in quanto – per definizione secondo l'iter di calcolo della specifica tecnica – durante il periodo estivo le perdite non si considerano recuperabili. In caso di valutazione dettagliata, invece, le dispersioni termiche si mantengono su valori costanti durante l'intero anno, attorno a 235 kWh/mese, per un totale di 2800 kWh/anno, pari alle dispersioni, al netto dei recuperi, dei sottosistemi di erogazione, di distribuzione e di accumulo durante il periodo invernale, della valutazione semplificata.

Tale constatazione è ulteriormente evidenziata dal fatto che in caso di valutazione dettagliata, non sussistono divergenze tra i risultati relativi alle città di Palermo e di Torino, mentre in caso di valutazione semplificata si evidenziano tali scostamenti, che sono dovuti alla differente durata del periodo di calcolo in condizioni estive ed invernali delle due città (figure 3.2.39 e 3.2.40).

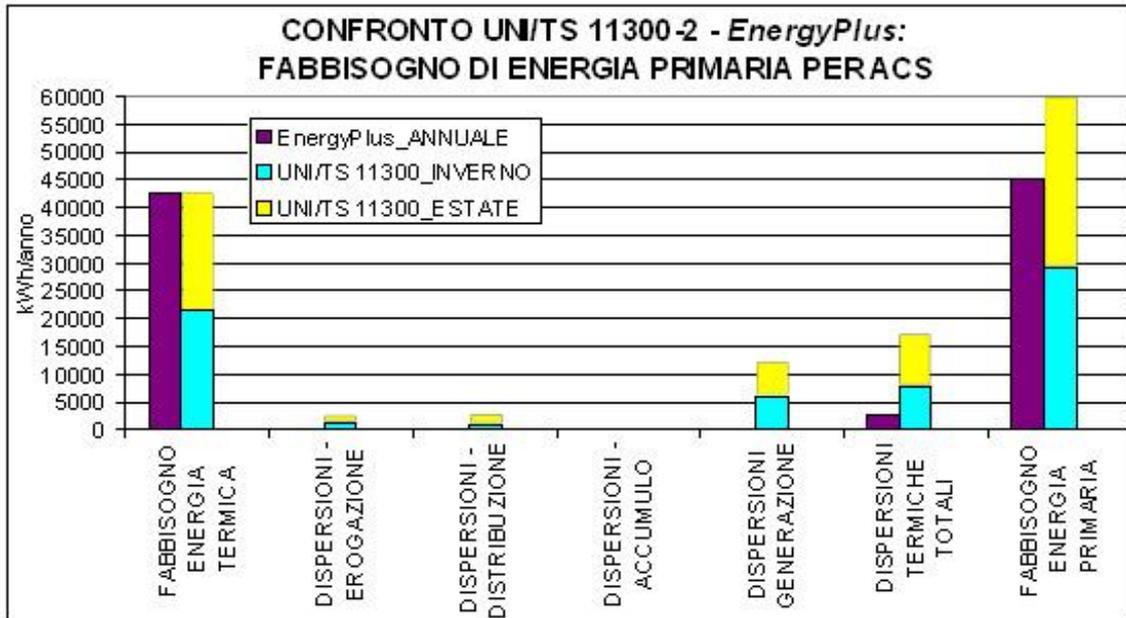


Figura 3.2.39 – Confronto tra il fabbisogno di energia primaria per la produzione di ACS, calcolato rispettivamente applicando il modello semplificato (UNI/TS 11300-2) e dettagliato (*EnergyPlus*): città di Torino.

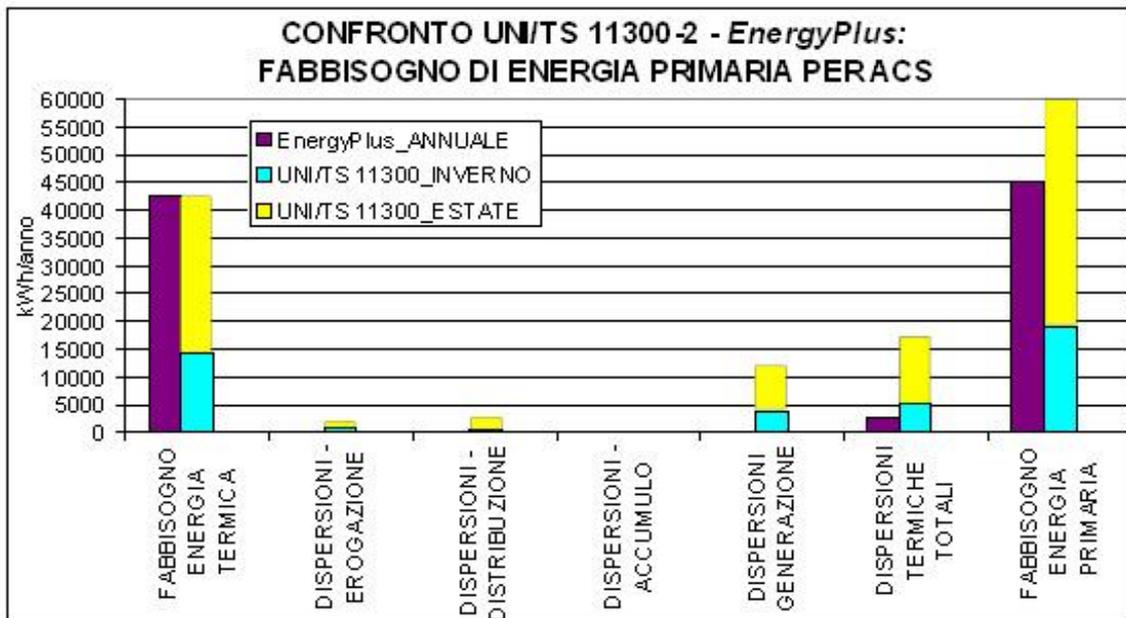


Figura 3.2.40 – Confronto tra il fabbisogno di energia primaria per la produzione di ACS, calcolato rispettivamente applicando il modello semplificato (UNI/TS 11300-2) e dettagliato (*EnergyPlus*): città di Palermo.

3.3 Secondo caso studio

3.3.1 Descrizione dell'edificio: complesso universitario

Il complesso universitario, che si suppone ubicato a Torino, si articola su due piani fuori terra ed un piano interrato (figure 3.3.1 e 3.3.2). In tabella 3.3.1 si riportano i principali dati riferiti al contesto.

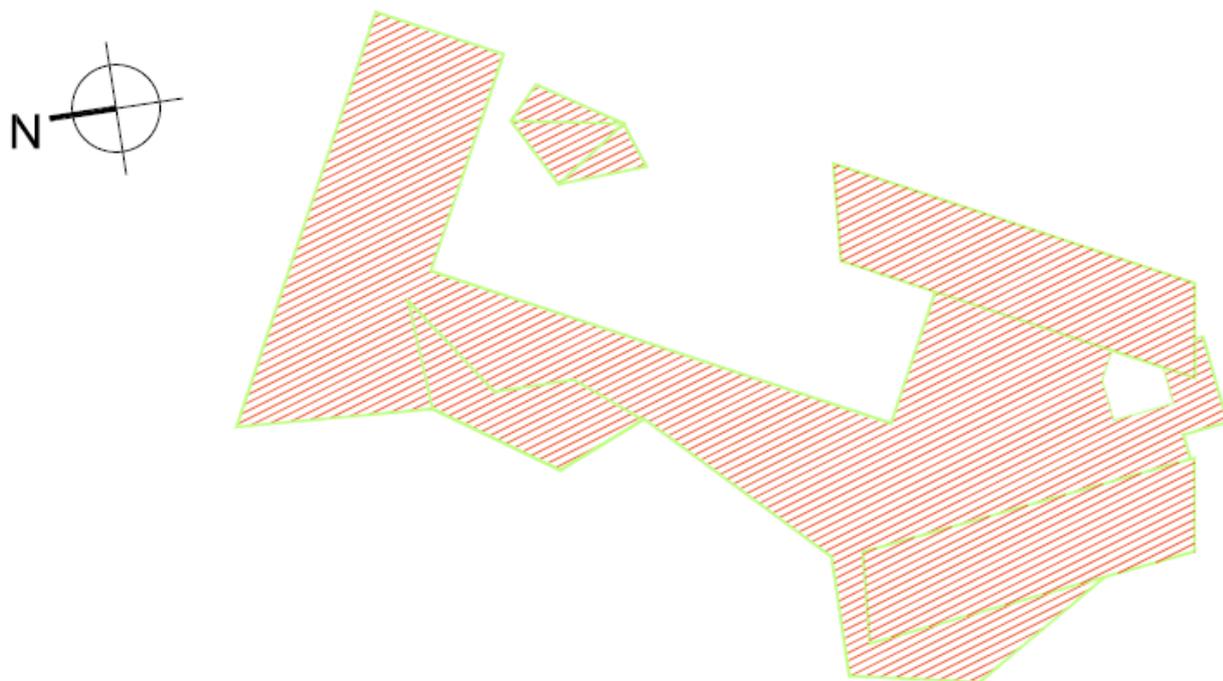


Figura 3.3.1 – Planimetria del complesso universitario.

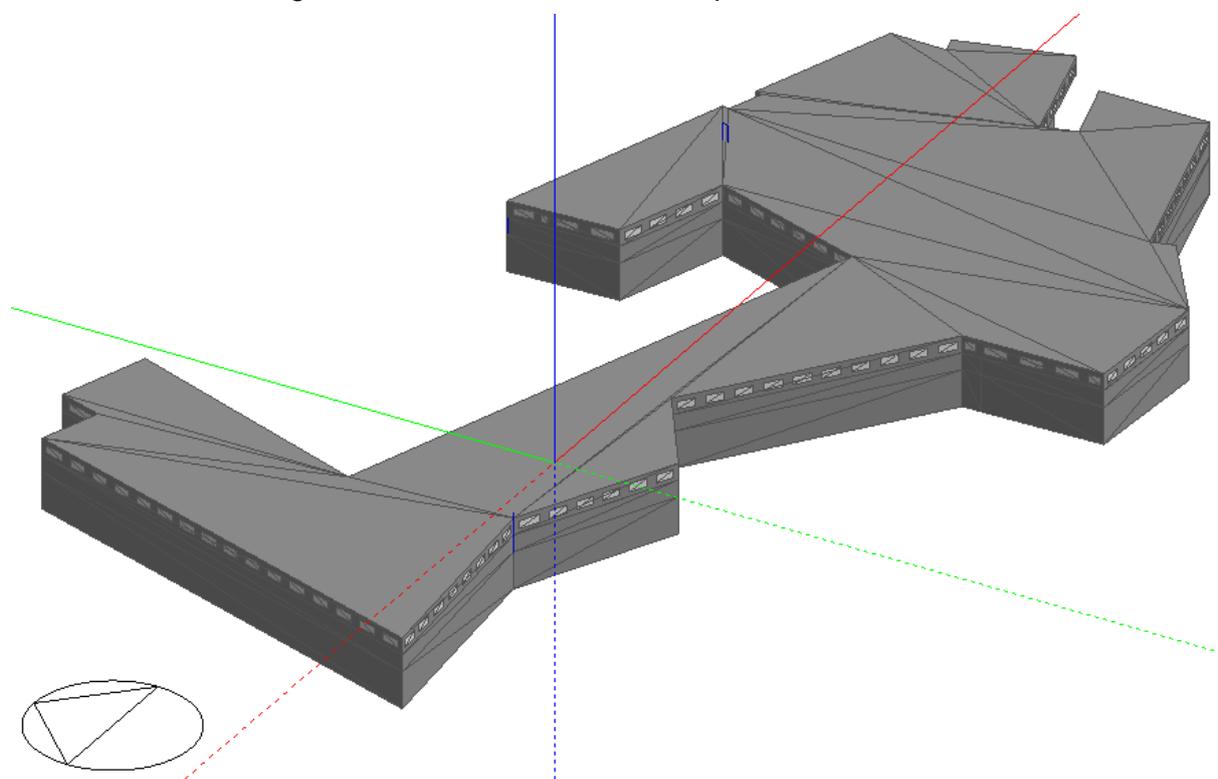


Figura 3.3.2 – Assonometria del complesso universitario.

Tabella 3.3.1 – Dati riferiti al contesto dell'edificio.

Destinazione d'uso prevalente	Attività scolastica
Categoria	E.7
Comune	Torino
Provincia	To
Zona climatica	E
Temperatura esterna di progetto invernale	- 8 °C
Inizio periodo convenzionale di riscaldamento	15 ottobre
Fine periodo convenzionale di riscaldamento	15 aprile
Inizio periodo convenzionale di raffrescamento	01 giugno
Fine periodo convenzionale di raffrescamento	31 luglio
Numero di ore di attivazione	12 ore/giorno
Composizione del terreno	Argilla o fango
Conduttività termica del terreno	1,5 W/(m·K)

Il piano interrato è adibito a garage e non è climatizzato (figura 3.3.3); il primo piano climatizzato risulta quindi essere il primo fuori terra, il quale è caratterizzato dall'essere interamente confinante con edifici adiacenti: le pareti perimetrali verticali sono quindi considerate adiabatiche e prive di componenti vetrati (figura 3.3.4). Il secondo piano climatizzato risulta quindi l'unico piano dell'edificio realmente confinante con l'ambiente esterno (figura 3.3.5).

Sia il primo che il secondo piano fuori terra sono suddivisi in zone termiche, per un totale di 38 (altezza di interpiano 3,2 m). In tabella 3.3.2 si riportano i principali dati dimensionali del complesso.

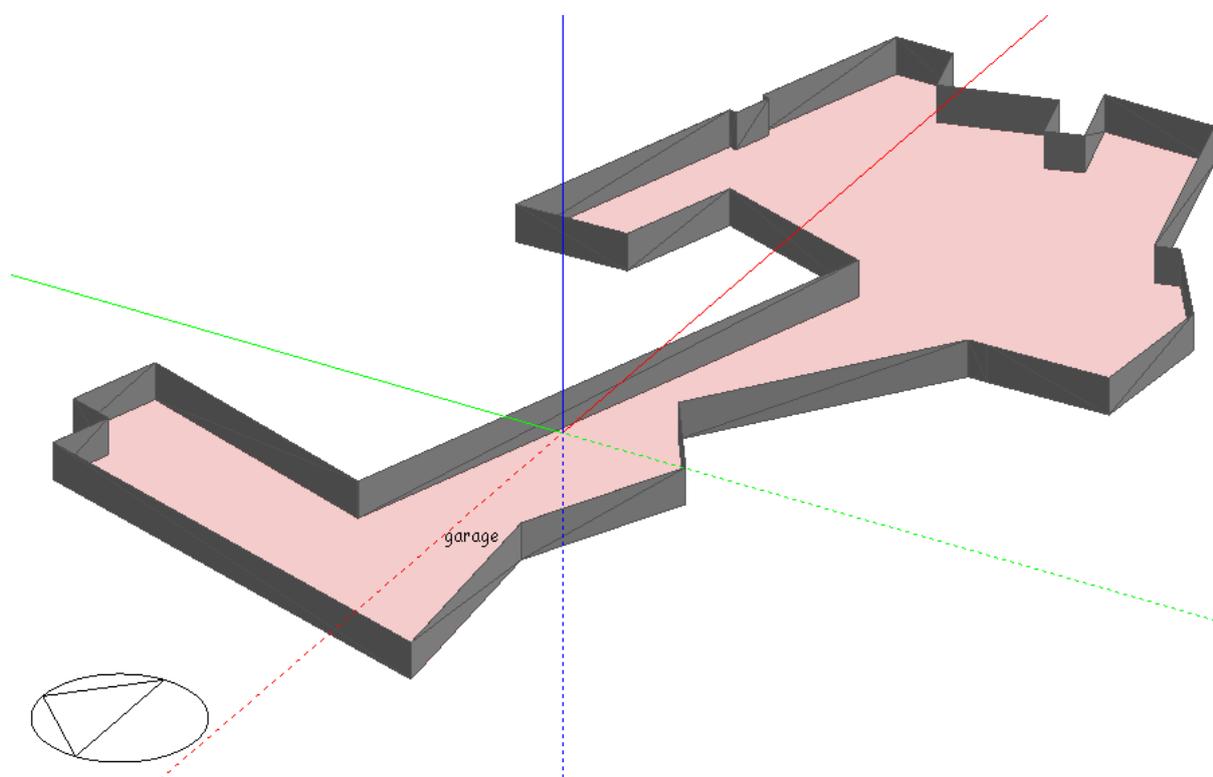


Figura 3.3.3 – Assonometria del garage.

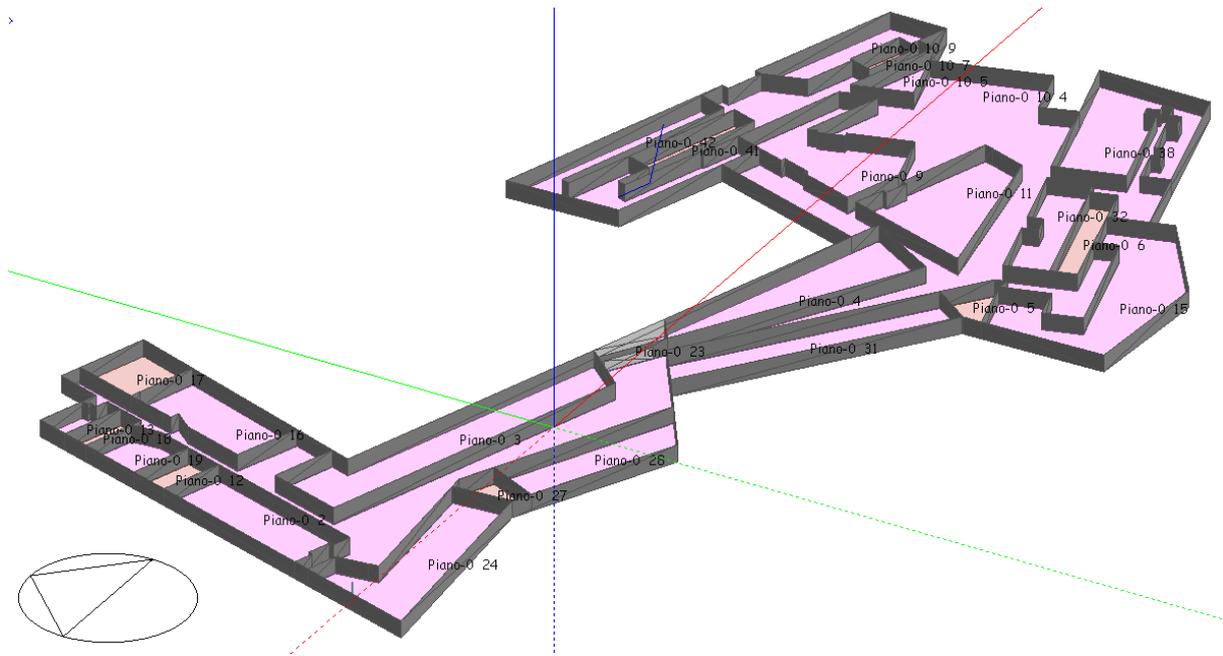


Figura 3.3.4 – Assonometria del primo piano.

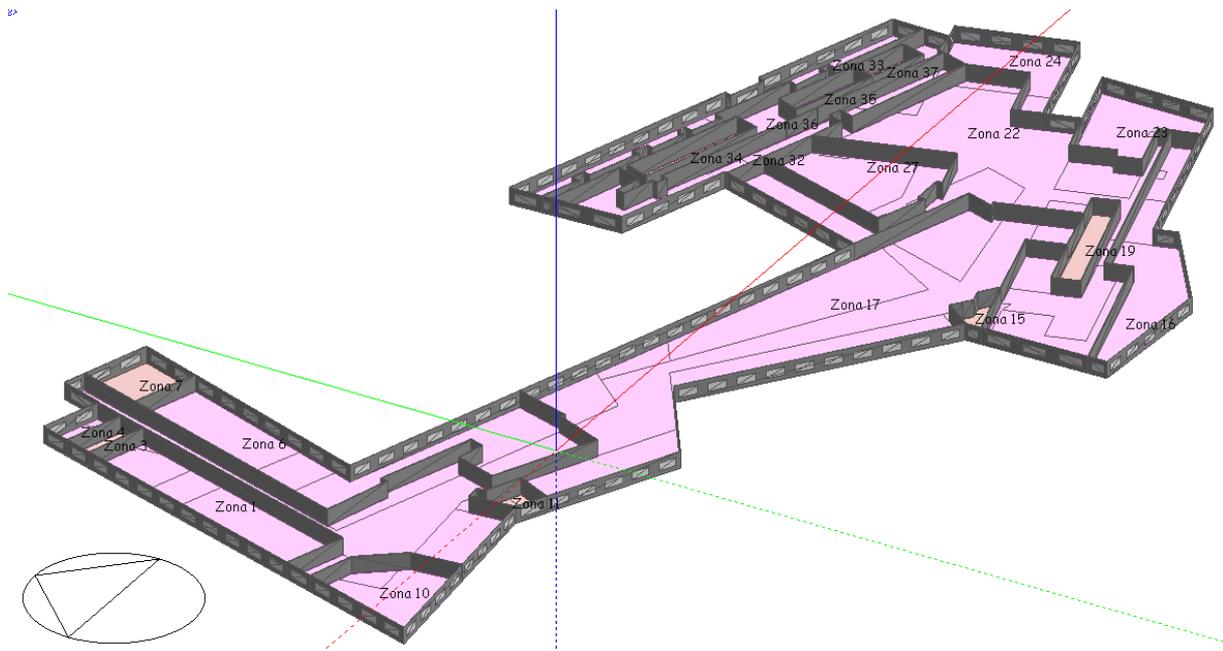


Figura 3.3.5 – Assonometria del secondo piano.

Tabella 3.3.2 – Principali dati dimensionali del complesso.

Proprietà geometriche dell'edificio								
Numero di piani fuori terra	-	2						
Numero di piani interrati	-	1						
Altezza media interpiano	[m]	3,2						
Volume lordo climatizzato	V_l [m ³]	72175						
Superficie utile di pavimento	A_f [m ²]	19949						
Superficie dell'involucro	A_e [m ²]	25816	Rapporto A_e/A_f	[-]	1,29	Rapporto A_e/V_l	[m ⁻¹]	0,36
Superficie finestrata	A_w [m ²]	769	Rapporto A_w/A_f	[-]	0,04	Rapporto A_w/A_e	[-]	0,03

Di seguito si riassumono le caratteristiche termo fisiche dei componenti d'involucro opaco verticale e di copertura, dei componenti vetrati, nonché delle partizioni interne adottate nelle simulazioni.

Componenti opachi

Parete esterna Me-1a

N.	DESCRIZIONE STRATO (dall'interno verso l'esterno)	s [mm]	λ [W/mK]	C [W/m ² K]	ρ [kg/m ³]	$\delta a \times 10^{-12}$ [kg/msPa]	$\delta u \times 10^{-12}$ [kg/msPa]	R [m ² K/W]
1	Cartongesso in lastre	12,5	0,250	20,000	900	20,000	50,000	0,050
2	Cartongesso in lastre	12,5	0,250	20,000	900	20,000	50,000	0,050
3	Aria non ventilata (fl.orizz.)	50	0,278	5,556	0	1000,000	1000,000	0,180
4	Pannello prefabbricato in cls	60	1,580	26,333	2000	2,000	3,333	0,038
5	Polistirene espanso sint. (alleggerim. strutture)	100	0,045	0,450	15	5,714	5,714	2,222
6	Pannello prefabbricato in cls	100	1,580	15,800	2000	2,000	3,333	0,063
7	Fibre minerali feldspatiche - Pannello rigido	80	0,039	0,488	80	200,000	200,000	2,051
8	Aria non ventilata (fl.orizz.)	60	0,333	5,556	0	1200,000	1200,000	0,180
9	Rivestimento di piastrelle in ceramica	14	1,000	71,429	2300	1,000	1,000	0,014

	Conduttanza unitaria superficiale interna	7,692	Resistenza unitaria superficiale interna	0,130	
Spessore totale [mm]	489	Conduttanza unitaria superficiale esterna	23,879	Resistenza unitaria superficiale esterna	0,042
Massa superficiale [kg/m ²]	360	TRASMITTANZA TOTALE [W/m ² K]	0,199	RESISTENZA TERMICA TOTALE [m ² K/W]	5,021

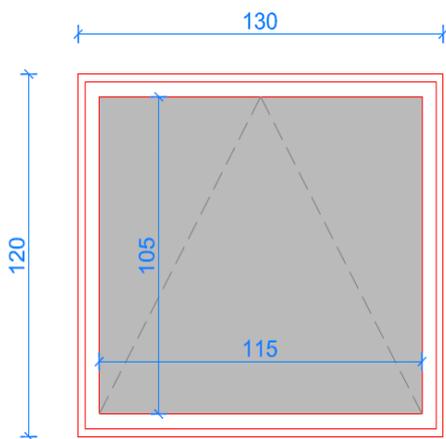
Copertura

N.	DESCRIZIONE STRATO (dall'alto verso il basso)	s [mm]	λ [W/mK]	C [W/m ² K]	ρ [kg/m ³]	$\delta a \times 10^{-12}$ [kg/msPa]	$\delta u \times 10^{-12}$ [kg/msPa]	R [m ² K/W]
1	Massetto ripartitore in calcestruzzo con rete	80	1,490	18,625	2200	2,857	2,857	0,054
2	Impermeabilizzazione con bitume	4	0,170	42,500	1200	0,004	0,004	0,024
3	Impermeabilizzazione con bitume	4	0,170	42,500	1200	0,004	0,004	0,024
4	Lana di roccia	50	0,040	0,800	150	200,000	200,000	1,250
5	Lana di roccia	50	0,040	0,800	150	200,000	200,000	1,250
6	Lana di roccia	50	0,040	0,800	150	200,000	200,000	1,250
7	Barriera vapore foglio di alluminio (.025-.05 mm)	3	220,0	73333	2700	0,000	0,000	0,000
8	Solaio tipo predalles	200	0,714	3,571	1479	22,222	22,222	0,280

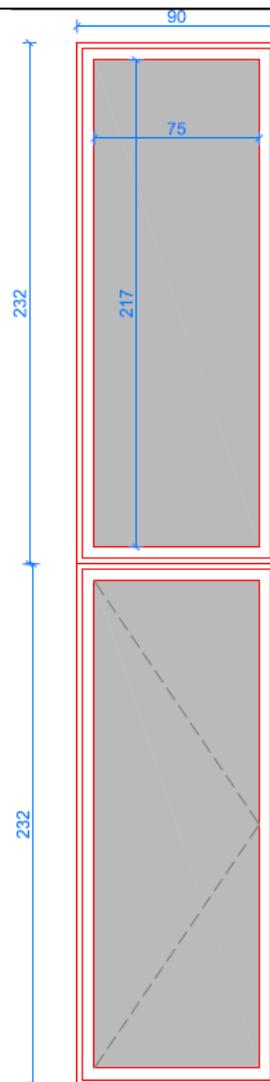
	Conduttanza unitaria superficiale interna	10,000	Resistenza unitaria superficiale interna	0,100	
Spessore totale [mm]	441	Conduttanza unitaria superficiale esterna	23,879	Resistenza unitaria superficiale esterna	0,042
Massa superficiale [kg/m ²]	512	TRASMITTANZA TOTALE [W/m ² K]	0,234	RESISTENZA TERMICA TOTALE [m ² K/W]	4,273

Componenti vetrati

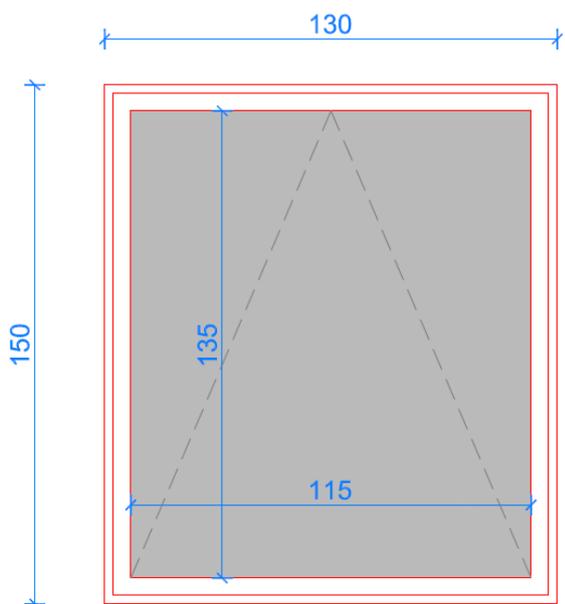
Facciata vetrata tipo	
Telaio	In alluminio a taglio termico
Tipo di vetro	Vetrocamera
Trasmittanza termica media (vetro + serramento) U [W/(m ² K)]	2,16
Fattore solare del vetro	0,6 invernale – 0,24 estivo



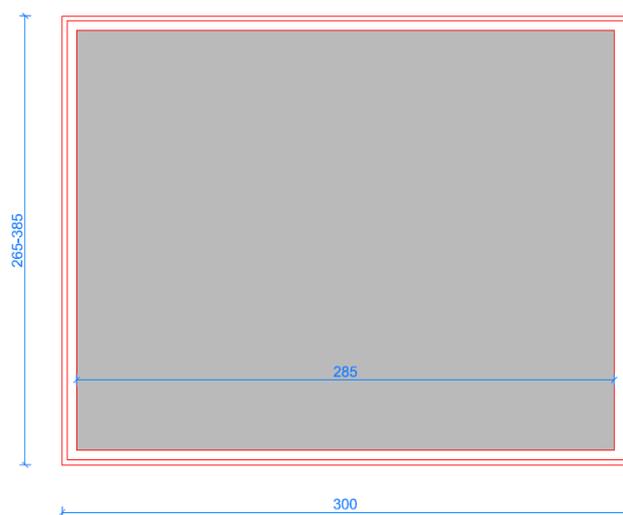
Finestra 130x120



Finestra 464x90



Porta-finestra 150x130



Porta-finestra 120x240

Alle vetrate sono associate delle schermature esterne mobili costituite da lamelle di colore chiaro inclinate di 45°, azionate in funzione della radiazione solare sulla superficie esterna del vetro: per irradianza superiore a 120 W/m², la schermatura entra in funzione. Essendo il serramento disposto a filo esterno, non sussistono ostruzioni esterne tali da produrre ombre portanti. Le caratteristiche del sistema schermante sono riportate in tabella 3.3.3.

Tabella 3.3.3 – Caratteristiche della schermatura solare esterna.

Orientamento delle lamelle	Orizzontale
Inclinazione delle lamelle	45°
Distanza tra le lamelle ed il vetro retrostante	0,100 m
Profondità delle lamelle	0,025 m
Spessore delle lamelle	0,001 m
Distanza tra le lamelle	0,0187 m
Conducibilità termica delle lamelle	0,9 W/(m·K)
Coefficiente di trasmissione solare (diretta e diffusa) delle lamelle	0
Coefficiente di riflessione solare (diretta e diffusa) delle lamelle (fronte e retro)	0,8
Coefficiente di trasmissione luminosa (diretta e diffusa) delle lamelle	0
Coefficiente di riflessione luminosa (diretta e diffusa) delle lamelle (fronte e retro)	0,8
Emissività termica delle lamelle (fronte e retro)	0,9

IMPIANTO DI CONDIZIONAMENTO E PRODUZIONE ACQUA CALDA SANITARIA

La tipologia di impianto è a tutt'aria, con unità fan-coil (energia ausiliaria assorbita 43,88 kWh/m²) e distribuzione dell'aria di tipo misto. La ventilazione è interamente di tipo meccanico (tasso di ricambio 3 h⁻¹); nel prospetto sottostante (figura 3.3.6) se ne riportano le principali caratteristiche.

Ventilazione naturale

On

Ventilazione meccanica

On

Tasso (vol/ora) 3,0

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16

Ventilatori

Controllo a ciclo notturno	1-Spento
Posizionamento ventilatore	1-Dopo le batterie di riscaldamento e raffrescama
Coefficiente di carico parziale	1-Umidificatori interni
Tipo di ventilatore	1-Aspirazione
Prevalenza totale ventilatori (Pa)	150,0
Efficienza totale (%)	70,0
Posizione motore ventilatore rispetto al flusso d'aria (%)	100,0

Free cooling

Tipo di free cooling	1-Nessuno
Tipo di blocco	1-Nessuno
Limite superiore di temperatura (°C)	25,0
Limite inferiore di temperatura (°C)	11,0
Limite superiore di entalpia (J/kg)	50000,0

Recupero di calore

On

Figura 3.3.6 – Dati in ingresso alla simulazione: tipologia di ventilazione.

Nel prospetto di figura 3.3.7 si riportano invece i dati in ingresso con riferimento al sistema di riscaldamento e di raffrescamento.

Ai fini del presente lavoro, non è stata considerata la domanda di acqua calda sanitaria.

Riscaldamento	
<input checked="" type="checkbox"/> On	
Combustibile	2-Gas naturale
Preriscaldamento (hr)	1,0
Semplice	
CoP del sistema di riscaldamento	0,83
Tipo di sistema di riscaldamento	1-Convettivo
Condizione aria immessa	
Temperatura aria immessa (°C)	35,00
Tasso di umidità per l'aria immessa (g/g)	0,010
Compact	
CoP della caldaia	0,83
Perdita per distribuzione in riscaldamento (%)	5,00
Corresponding outdoor low temperature (°C)	-6,70
Min off-coil setpoint temperature (°C)	12,00
Corresponding outdoor high temperature (°C)	10,00
Raffrescamento	
<input checked="" type="checkbox"/> On	
Preraffrescamento (hr)	0,0
Semplice	
CoP del sistema di raffrescamento	1,67
Condizione aria immessa	
Temperatura aria immessa (°C)	12,00
Tasso di umidità per l'aria immessa (g/g)	0,008
Compact	
CoP del chiller	1,67
Perdita per distribuzione in raffrescamento (%)	5,00
Setpoint batteria di raffrescamento (°C)	14,00
Corresponding outdoor high temperature (°C)	26,70
Max off-coil setpoint temperature (°C)	18,00
Corresponding outdoor low temperature (°C)	15,60

Figura 3.3.7 – Dati in ingresso alla simulazione: sistema di riscaldamento e di raffrescamento.

3.3.2 Simulazione del caso studio (EnergyPlus)

Per la simulazione dinamica del complesso universitario è stato utilizzato il programma *EnergyPlus*, versione 4.0.

L'edificio è stato modellato in prima istanza con il programma *Design Builder*, ed in seguito simulato con *EnergyPlus* implementato nel programma medesimo.

DATI CLIMATICI

Per i dati climatici si rimanda a quanto riportato al capitolo 3.2.1.

APPORTI INTERNI

Gli apporti interni medi giornalieri sono stati valutati pari a 15 W/m^2 , considerando un profilo d'occupazione come mostra la tabella 3.3.4. La frazione radiante è stata considerata nulla.

Tabella 3.3.4 – Profili temporali e medi degli apporti termici sensibili (occupanti ed apparecchiature).

GIORNI	ORE	APPORTI TERMICI [W/m ²]
Lunedì - Venerdì	07:00 - 19:00	15
	19:00 - 07:00	0,75
Media		7,88
Sabato - Domenica	07:00 - 24:00	0,75
Media		0,75
Media annuale (profilo temporale)		5,75
Media mensile (UNI/TS 11300-1)		6

VENTILAZIONE

Di seguito (figura 3.3.8) si riporta il prospetto di interfaccia di *Design Builder* nel quale sono riassunti i principali dati in ingresso riferiti al *set-point* di ventilazione.

Ai fini del presente lavoro, sono inoltre state considerate le infiltrazioni d'aria, con un tasso costante pari a $0,3 \text{ h}^{-1}$. La quota parte riferita alla ventilazione meccanica (3 h^{-1}) è stata considerata nella valutazione del fabbisogno di energia primaria; le infiltrazioni sono invece state considerate nella valutazione del fabbisogno di energia termica utile.

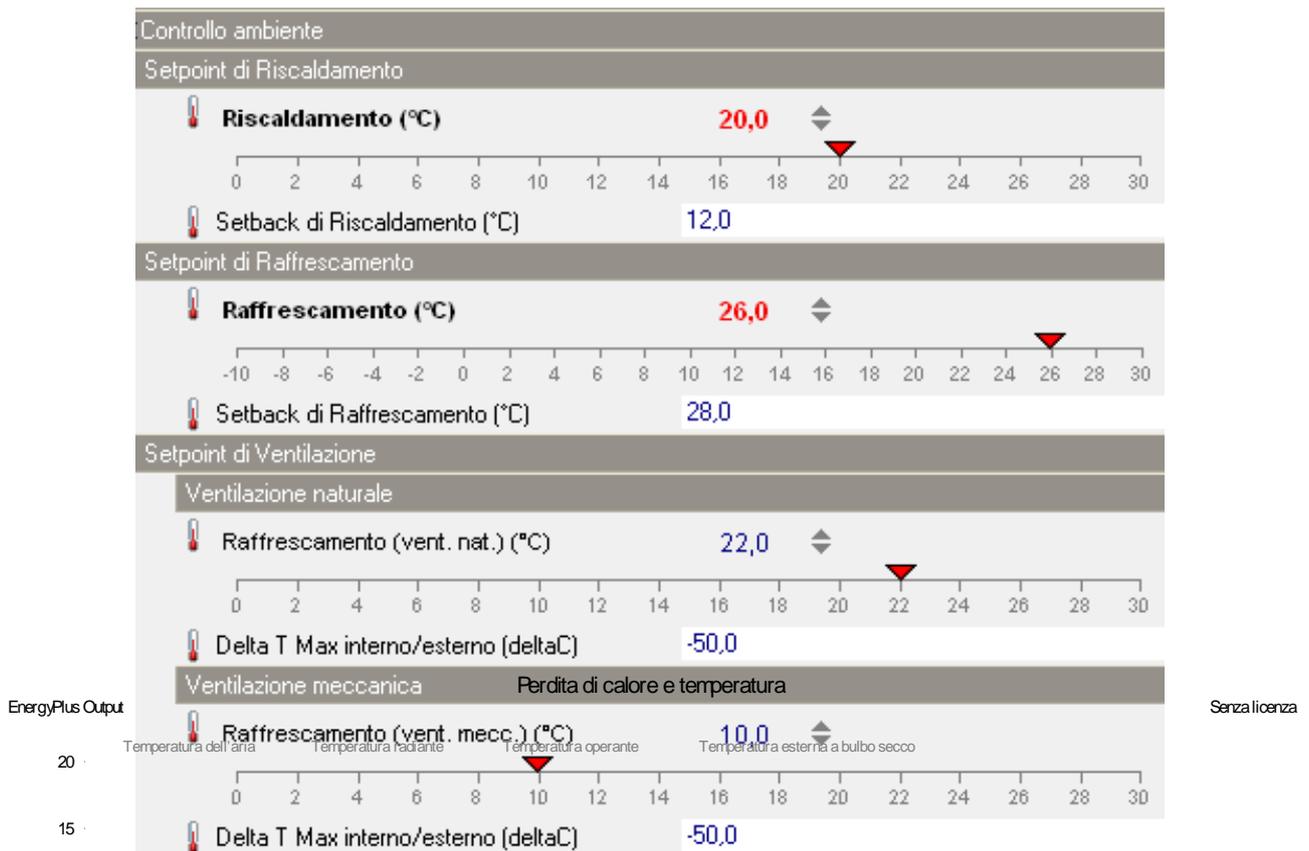


Figura 3.3.8 – Dati in ingresso alla simulazione: ventilazione meccanica, set-point.

Temperatura (°C)

DATI DELLE SIMULAZIONI

In seguito si riportano i principali risultati delle simulazioni condotte, riferite al fabbisogno di energia termica sia primaria, per il riscaldamento e per il raffrescamento dell'edificio, riferite ai giorni di progetto invernale (figura 3.3.9), estivo (figura 3.3.10) ed all'intero anno (figura 3.3.11).



Potenza di progetto [kW]:

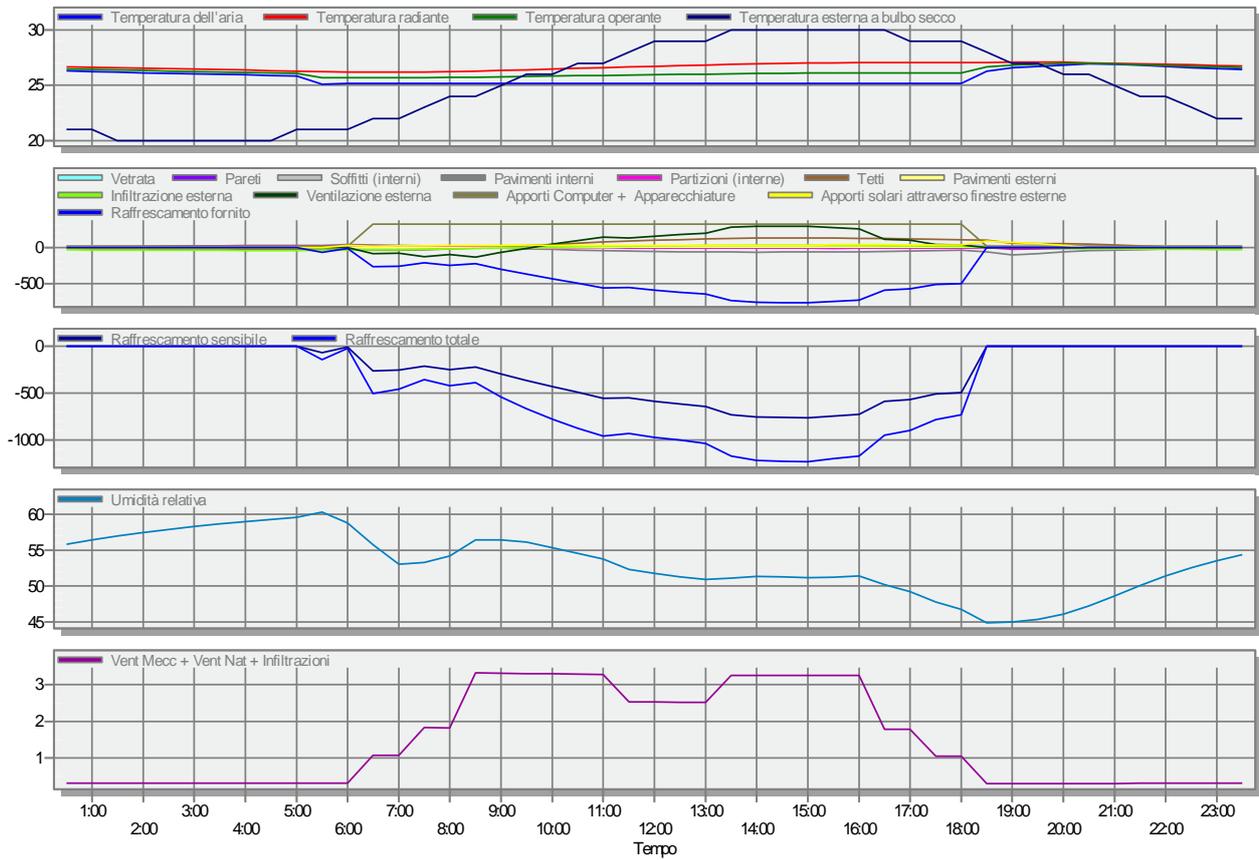
- Totale dell'edificio: 2963,66
- Piano 1°: 1615,18
- Piano 2°: 1348,48

Figura 3.3.9 – Dati di output delle simulazioni: giorno invernale di progetto.

Apporti di calore e temperatura - Senza titolo, Edificio 1
15 Jul, Sub-orario

EnergyPlus

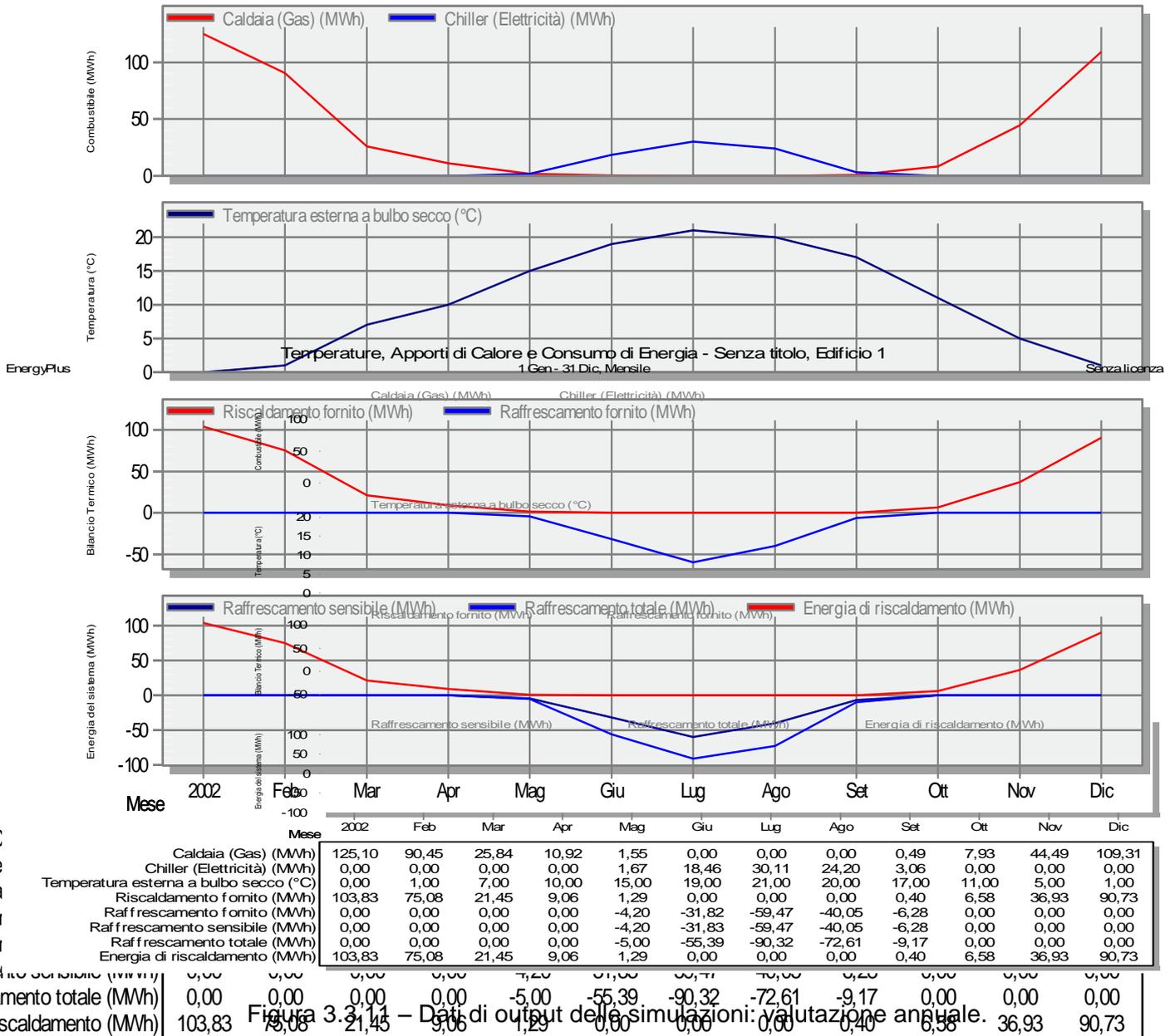
Senza licenza



Potenza di progetto [kW]:

- Totale dell'edificio: 1603,13
- Piano 1°: 814,90
- Piano 2°: 788,23

Figura 3.3.10 – Dati di output delle simulazioni: giorno estivo di progetto.



3.3.3 Applicazione della UNI/TS 11300 al caso studio

Per il calcolo del fabbisogno di energia termica, il complesso universitario è stato considerato come edificio costituito da due zone termiche, rappresentate dai due piani fuori terra. Del primo piano fuori terra sono state considerate disperdenti le sole superfici in adiacenza con il piano interrato adibito a garage, che si ricorda non essere riscaldato; del secondo piano fuori terra le superfici sono state considerate tutte disperdenti verso l'ambiente esterno, eccezione fatta per il solaio del pavimento, considerato adiabatico.

I ponti termici sono stati trascurati, coerentemente con la tipologia di valutazione dinamica effettuata: si ricorda infatti che né *EnergyPlus* né *Design Builder* contemplano la possibilità di considerare le dispersioni lineiche.

Con riferimento al piano terreno, lo scambio termico con il garage è stato valutato definendo il fattore b_{tr} , come richiesto dal modello di calcolo semplificato (tabella 3.3.5).

Tabella 3.3.5 – Calcolo del fattore b_{tr} di correzione dello scambio termico del solaio del piano terra verso il garage.

PIANO TERRA									
ELEMENTO	A [m ²]	U [W/m ² K]	l [m]	ψ [W/mK]	V [m ³]	n [h ⁻¹]	H_{ue} [W/K]	H_{iu} [W/K]	b_{tr} [-]
PAVIMENTO PIANO TERRA	810,0	0,17	0	0,00				139,3	0,97
PAVIMENTO GARAGE	810,0	0,01	0	0,00			9,6		
PARETE GARAGE	32703,3	0,14	0	0,00			4459,4		

Considerando il primo piano, le superfici disperdenti da considerare comprendono oltre alle pareti perimetrali verticali, anche il solaio di copertura. Essendo le superfici finestrate dell'intero piano munite di schermature solari, si è utilizzata la trasmittanza di energia solare totale della finestra pari a 0,25 quando la schermatura è utilizzata, e pari a 0,6 quando la schermatura non è utilizzata.

La capacità termica areica per unità di superficie di involucro del piano terreno è stata valutata pari a 177 kJ/m²K, ed è stata calcolata non considerando i divisori interni, e valutando come superficie d'involucro la reale superficie disperdente, pari al solaio verso il garage.

La capacità termica areica per unità di superficie di involucro del primo piano è stata valutata pari a 49 kJ/m²K, ed è nuovamente stata calcolata non considerando i divisori interni.

Con riferimento agli apporti interni, per entrambi i piani sono stati considerati 6 W/m², come media mensile (tabella 3.3.4).

Nella valutazione del fabbisogno di energia termica, sono state considerate come ventilazione solamente le infiltrazioni, che si ricordano essere per entrambi i piani pari a 0,3 h⁻¹.

Le temperature di set-point invernale ed estivo sono state fissate a 20 °C ed a 26 °C, coerentemente con quanto predisposto dalla UNI/TS 11300-1. I dati climatici utilizzati si riferiscono alla città di Torino, per i quali si rimanda alla tabella 3.2.8.

RISULTATI DELLE SIMULAZIONI

Di seguito (figure 3.3.12 e 3.3.13, tabella 3.3.6) si riportano i risultati riferiti all'applicazione al complesso universitario della UNI/TS 11300-1, per la valutazione del fabbisogno di energia termica per riscaldamento e per raffrescamento.

Dalle figure si può notare come in caso di riscaldamento, il fabbisogno termico dipenda in primo luogo dalle dispersioni termiche per trasmissione del secondo piano: primo e secondo piano infatti, a seguito di pari dati in ingresso dimensionali, di infiltrazione e di apporti termici, si differenziano esclusivamente per la presenza, al primo piano, di componenti vetrati e di una copertura piana disperdente verso l'esterno. Si ricorda inoltre che il piano terreno disperde solamente verso il garage sottostante, affermazione che comporta l'attribuzione delle dispersioni termiche della zona alla sola valutazione del fattore di correzione b_{tr} .

Con riferimento al periodo di raffrescamento, il fabbisogno riscontrato per il piano terreno è da attribuire essenzialmente agli apporti termici interni ed alle infiltrazioni⁶. La differenza tra i valori mensili di fabbisogno riscontrati tra il piano terra ed il primo piano è da attribuire ai guadagni termici attraverso la copertura piana della zona, ed i componenti vetrati; si ricorda inoltre che le finestre sono dotate di schermature solari le quali, secondo quanto predisposto dalla UNI/TS 11300-1, si considerano attivate in caso di radiazione solare incidente su di una superficie maggiore di 300 W/m², condizione che nel caso simulato non si verifica mai.

⁶ Come ricordato in precedenza, l'unico elemento edilizio disperdente è rappresentato dal solaio di separazione della zona termica con il garage sottostante, il quale, essendo sottoterra, durante il periodo estivo non concorre all'incremento del fabbisogno termico della zona soprastante, quanto piuttosto alla riduzione del carico termico di questa ultima, per scambio termico per trasmissione.

Tabella 3.3.6 – Fabbisogno di energia termica utile per la climatizzazione estiva ed invernale del complesso universitario: città di Torino.

	PIANO TERRA		PRIMO PIANO		TOTALE	
	Q _h [kWh]	Q _c [kWh]	Q _h [kWh]	Q _c [kWh]	Q _h [kWh]	Q _c [kWh]
GENNAIO	21439	0	122768	0	144207	0
FEBBRAIO	14768	0	95522	0	110290	0
MARZO	2816	0	58021	0	60837	0
APRILE	0	0	16135	0	16135	0
MAGGIO	0	10500	0	0	0	10500
GIUGNO	0	21243	0	16875	0	38117
LUGLIO	0	30398	0	36362	0	66760
AGOSTO	0	26179	0	22023	0	48202
SETTEMBRE	0	14774	0	0	0	14774
OTTOBRE	0	0	19256	0	19256	0
NOVEMBRE	3770	0	73516	0	77287	0
DICEMBRE	16694	0	110984	0	127678	0
TOTALE	59488	103093	496202	75259	555690	178352
	PIANO TERRA		PRIMO PIANO		TOTALE	
	Q _h [kWh/m ³]	Q _c [kWh/m ³]	Q _h [kWh/m ³]	Q _c [kWh/m ³]	Q _h [kWh/m ³]	Q _c [kWh/m ³]
GENNAIO	0,6	0,0	3,4	0,0	4,0	0,0
FEBBRAIO	0,4	0,0	2,6	0,0	3,1	0,0
MARZO	0,1	0,0	1,6	0,0	1,7	0,0
APRILE	0,0	0,0	0,4	0,0	0,4	0,0
MAGGIO	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,3
GIUGNO	0,0	0,6	0,0	0,5	0,0	1,1
LUGLIO	0,0	0,8	0,0	1,0	0,0	1,8
AGOSTO	0,0	0,7	0,0	0,6	0,0	1,3
SETTEMBRE	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,4
OTTOBRE	0,0	0,0	0,5	0,0	0,5	0,0
NOVEMBRE	0,1	0,0	2,0	0,0	2,1	0,0
DICEMBRE	0,5	0,0	3,1	0,0	3,5	0,0
TOTALE	2	3	14	2	15	5

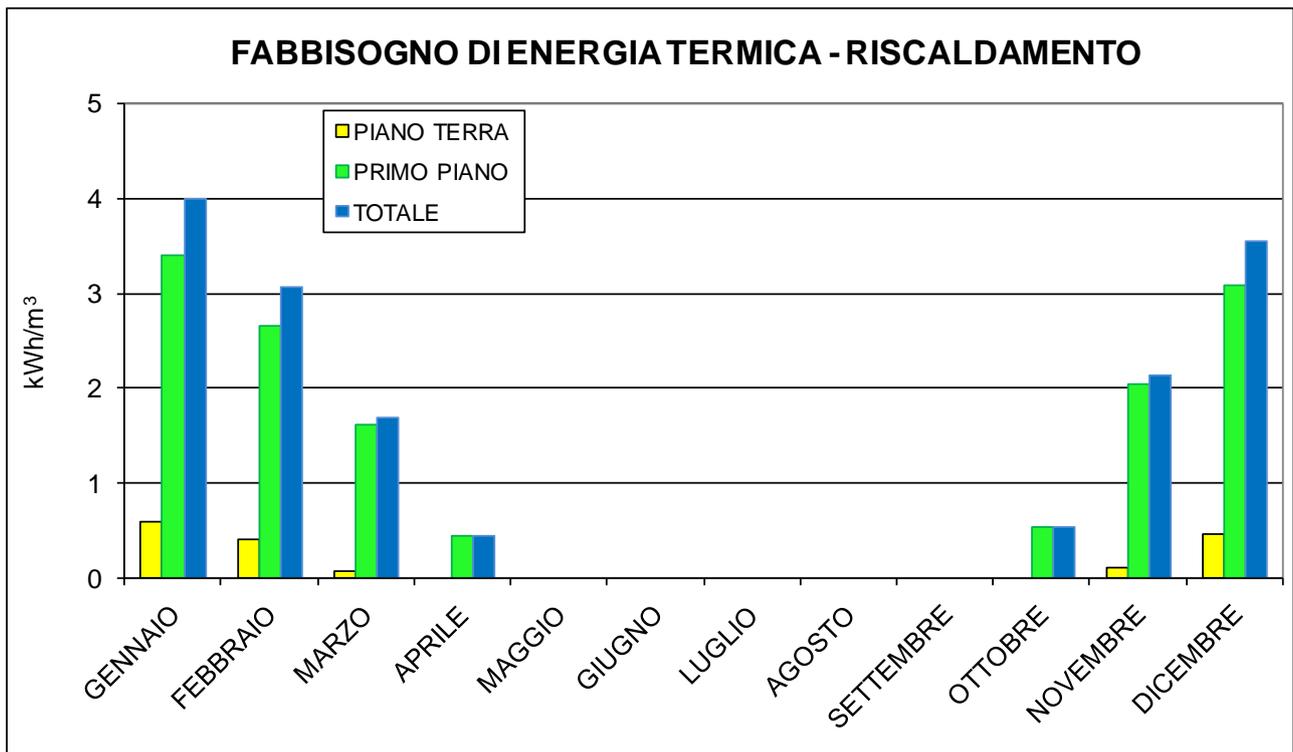


Figura 3.3.12 - Fabbisogno mensile di energia termica per il riscaldamento, in applicazione della UNI/TS 11300-1: città di Torino.

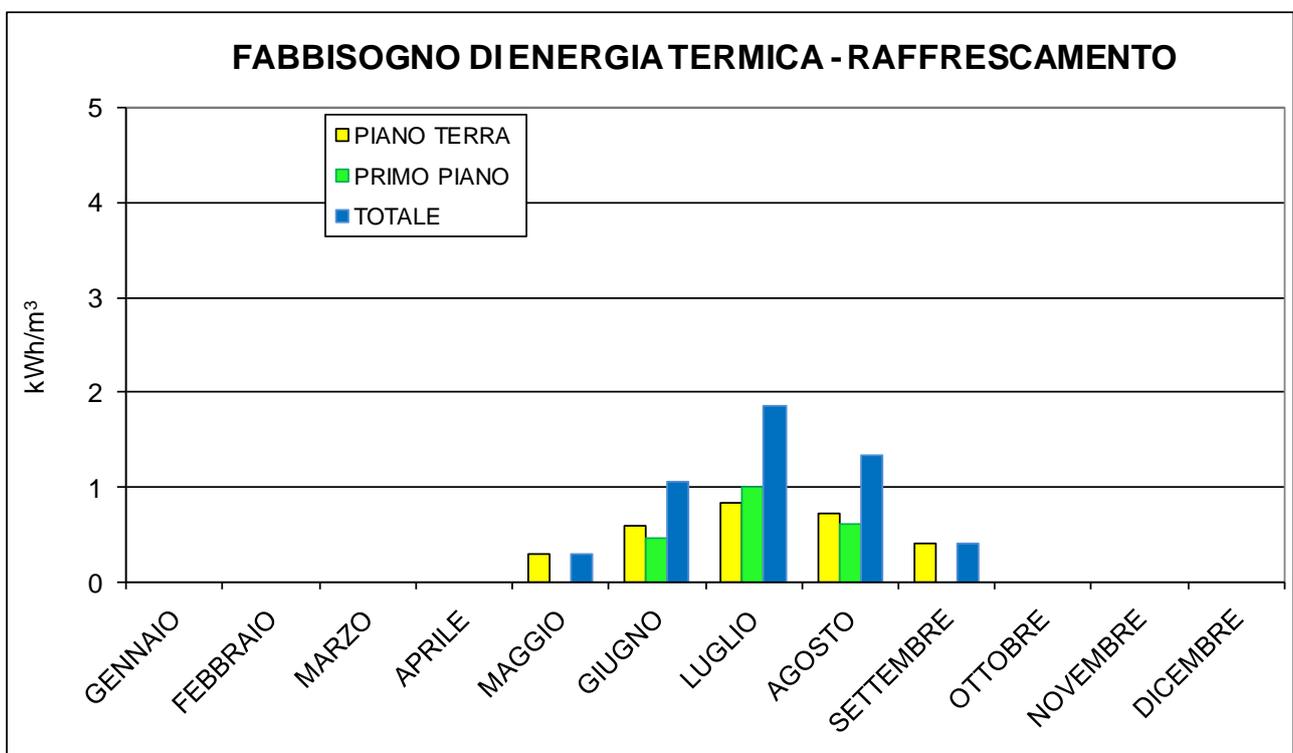


Figura 3.3.13 - Fabbisogno mensile di energia termica per il raffrescamento, in applicazione della UNI/TS 11300-1: città di Torino.

3.3.4 Analisi di sensibilità sulle deviazioni dei risultati

Di seguito (figura 3.3.14) si riporta il confronto tra i risultati del fabbisogno di energia termica per il condizionamento invernale ed estivo del complesso universitario, valutati rispettivamente con il modello dinamico ed applicando il modello semplificato della UNI/TS 11300-1.

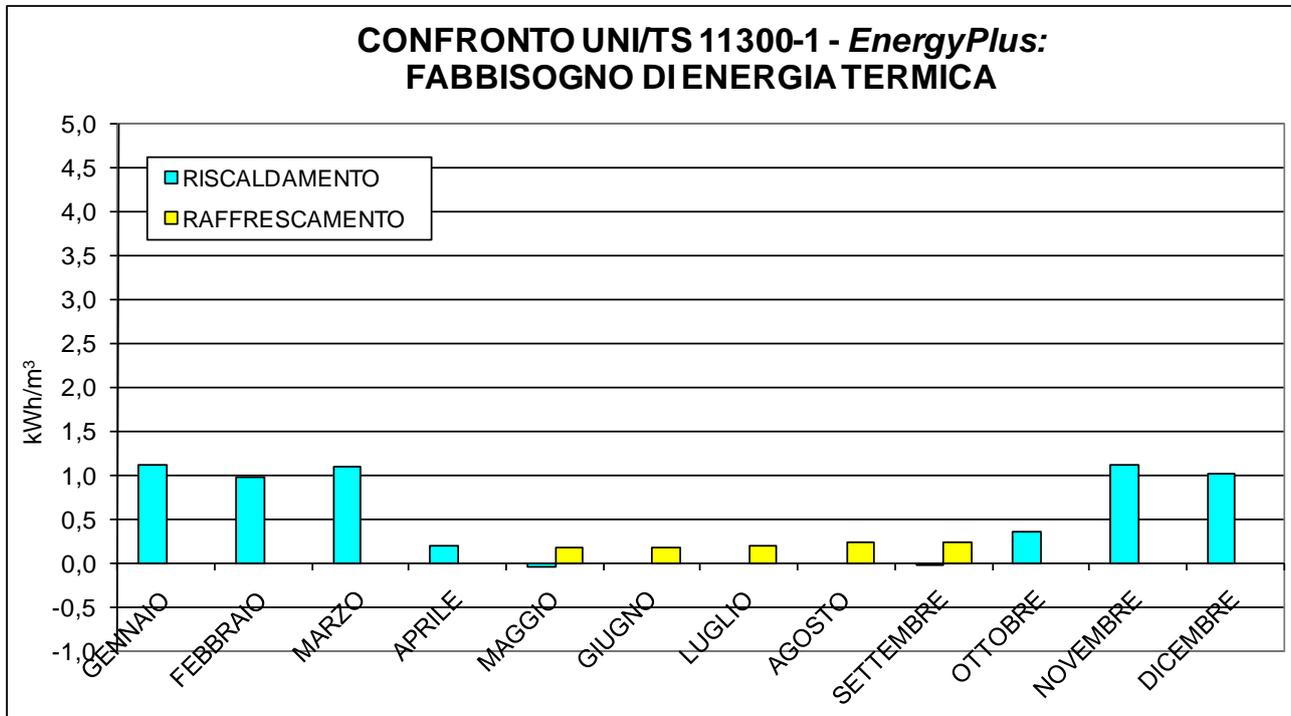


Figura 3.3.14 - Differenza tra il fabbisogno di energia termica per la climatizzazione calcolato rispettivamente applicando il modello semplificato (UNI/TS 11300-1) e dettagliato (*EnergyPlus*): città di Torino.

Coerentemente con quanto già evidenziato per il primo caso studio (capitolo 3.2), si riscontra una tendenza da parte del modello semplificato alla sovrastima, sia in caso di valutazione estiva che invernale. Nel particolare caso del complesso universitario però, si evince che tale sovrastima può considerarsi trascurabile, in quanto al più di poco superiore a 1 kWh/m³, durante i mesi invernali.

La principale distinzione tra il secondo ed il primo caso studio riguarda la porzione vetrata di superficie d'involucro, la quale risulta essere pressoché nulla nel caso del complesso universitario (0,03 m²/m²) ed elevata nel caso della torre uffici (0,46 m²/m²); inoltre, si ricorda che nel caso dell'edificio a torre si è reso necessario valutare i fattori correttivi dello scambio termico b_{tr} , per la corretta valutazione delle dispersioni termiche sia verso il garage, sia verso i vani scala, entrambi non riscaldati. Questi i principali motivi per i quali sono state riscontrate maggiori divergenze di valutazione tra i due modelli nel primo caso studio rispetto a quanto non sia stato verificato nel complesso universitario.

3.4 Aspetti particolari del calcolo

3.4.1 Effetto dell'ombreggiamento

Come si è visto al capitolo precedente con riferimento all'ombreggiamento dei componenti trasparenti, il modello di calcolo semplificato distingue l'ombreggiamento dovuto ad ostruzioni esterne fisse, dall'ombreggiamento dovuto all'utilizzo di schermature mobili: mentre il primo è valutato attraverso il parametro $F_{sh,ob}$, del secondo apporto si tiene conto attraverso il fattore di riduzione degli apporti solari $F_{sh,gl}$, a sua volta funzione del coefficiente di trasmittanza di energia solare totale g_{gl} corretto, per tener conto della presenza della schermatura mobile g_{gl+sh} .

Il fattore di ombreggiatura $F_{sh,ob}$ è un parametro quindi che a differenza della trasmittanza di energia solare totale g_{gl} , valuta le prestazioni di un elemento schermante non mobile, ma fisso e facente parte integrante dell'edificio oggetto di studio, come:

- altri edifici;
- topografia (colline, alberi, ecc...);
- aggetti soprastanti;
- altri elementi dell'edificio stesso;
- parti di muro esterne, su cui è montato l'elemento vetrato.

$F_{sh,ob}$ ha valori compresi tra 0 e 1, e rappresenta la riduzione di radiazione solare incidente dovuta all'ombreggiamento permanente dell'elemento vetrato⁷. La norma UNI EN ISO 13790:2008 definisce tale fattore come correzione dell'area del serramento (8):

$$F_{sh,ob} = \frac{I_{S,ps}}{I_S} \quad (8)$$

dove:

$I_{S,ps}$ è l'irradianza solare totale incidente sul componente, in presenza di schermatura permanente, durante il periodo considerato [J/m^2];

I_S è l'irradianza solare incidente sul componente nello stesso periodo, senza schermatura permanente [J/m^2].

Come precedentemente affermato, la UNI/TS 11300-1 determina il fattore di ombreggiatura come prodotto dei coefficienti di ombreggiatura relativi ad ostruzioni esterne (F_{hor}), ad aggetti orizzontali (F_{ov}) e verticali (F_{fin}) ricavabili per interpolazione lineare dei valori forniti dalla norma stessa.

Per quanto riguarda la prestazione solare del componente vetrato, g_{gl} è la trasmittanza di energia solare totale della finestra, quando la schermatura non è utilizzata e si calcola con la formula (9):

$$g_{gl} = F_w g_{gl,n} \quad (9)$$

dove:

F_w è un fattore di correzione legato agli angoli d'incidenza della radiazione solare, pari a 0,9;

$g_{gl,n}$ è la trasmittanza di energia solare totale per radiazione perpendicolare all'elemento trasparente.

⁷ La determinazione del fattore di ombreggiatura concorre in primis alla valutazione degli apporti solari gratuiti all'interno del calcolo complessivo del fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione invernale, tema affrontato nel successivo capitolo 9.

Nel caso quindi di presenza di elementi schermanti mobili come tende – interne od esterne – la quantità degli apporti solari deve essere ridotta; in questo caso si ha che il coefficiente di trasmissione di energia solare totale del vetro quando la schermatura è utilizzata è pari a:

$$g_{gl+sh} = F_w \cdot g_{gl,n} \cdot F_c \quad (10)$$

dove F_c rappresenta il fattore di riduzione degli apporti dovuta a tende o assimilabili; alcuni valori sono proposti dalla UNI/TS 11300-1, come riportato in tabella 3.4.2.

Tabella 3.4.1 – 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
		0,10	0,30	0,15
		0,30	0,45	0,35
Tende bianche	0,1	0,50	0,65	0,55
		0,70	0,80	0,75
		0,90	0,95	0,95
Tessuti colorati	0,3	0,10	0,42	0,17
		0,30	0,57	0,37
		0,50	0,77	0,57
Tessuti rivestiti di alluminio	0,2	0,05	0,20	0,08

Il fattore di riduzione degli apporti solari $F_{sh,gl}$ è quindi calcolato dal modello semplificato attraverso la formula (11):

$$F_{sh,gl} = \frac{[(1 - f_{sh,with})g_{gl} + f_{sh,with}g_{gl+sh}]}{g_{gl}} \quad (11)$$

dove:

$f_{sh,with}$ è la frazione di tempo in cui la schermatura solare è utilizzata, pesata sull'irraggiamento solare incidente;

g_{gl+sh} è la trasmittanza di energia solare totale della finestra, quando la schermatura è utilizzata.

$f_{sh,with}$ dipende dal profilo dell'irradianza solare incidente sulla finestra e quindi dal clima, dalla stagione e dall'esposizione. Per ciascun mese e per ciascuna esposizione $f_{sh,with}$ può essere calcolato come rapporto tra la somma dei valori orari di irradianza maggiore di 300 W/m² e la somma di tutti i valori orari di irradianza del mese considerato. La UNI/TS 11300-1 propone il prospetto riportato in tabella 3.4.1 (nel caso di orientamenti non considerati, si procede per interpolazione lineare).

Tabella 3.4.2 – Fattore di riduzione per schermature mobili, secondo la norma UNI/TS 11300-1.

		Mese											
		gennaio	febbraio	marzo	aprile	maggio	giugno	luglio	agosto	settembre	ottobre	novembre	dicembre
FATTORE DI RIDUZIONE PER SCHERMATURE MOBILI $f_{sh,with} [-]$	N	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	E	0,52	0,48	0,66	0,71	0,71	0,75	0,74	0,75	0,73	0,72	0,62	0,50
	S	0,81	0,82	0,81	0,74	0,62	0,56	0,62	0,76	0,82	0,86	0,84	0,86
	O	0,39	0,55	0,63	0,62	0,64	0,68	0,73	0,72	0,67	0,60	0,30	0,42

3.4.2 Parametri dinamici

Come si è visto al capitolo precedente, secondo il metodo semplificato, l'inerzia termica dei componenti opachi concorre alla determinazione del fabbisogno energetico dell'edificio, mediante la costante di tempo termica τ , a sua volta funzione della capacità termica C_m , calcolata a partire dalla capacità termica areica κ di ogni singolo componenti lambito dall'aria climatizzata.

La costante di tempo termica della zona termica [h], si ricava quindi dalla formula (12):

$$\tau = \frac{C_m / 3600}{H_{tr,adj} + H_{ve,adj}} \quad (12)$$

dove:

$H_{tr,adj}$ è il coefficiente globale di scambio termico per trasmissione;

$H_{ve,adj}$ è il coefficiente globale di scambio termico per ventilazione;

C_m è la capacità termica interna dell'edificio, calcolata sommando la capacità termica areica interna di ogni elemento dell'edificio in diretto contatto termico con l'aria interna della zona in esame:

$$C_m = \sum \kappa_j A_j \quad (13)$$

dove:

κ_j è per l'appunto la capacità termica interna per area dell'elemento j -esimo [J/(m²K)], calcolata in accordo con la norma UNI EN ISO 13786:2008;

A_j è l'area dell'elemento j -esimo [m²].

Per la determinazione della capacità termica interna di ogni elemento edilizio κ_j , la norma UNI EN ISO 13786:2008 propone due metodi differenti, uno dettagliato ed uno semplificato. Il metodo dettagliato – utilizzato per il presente lavoro – è da considerarsi il metodo più corretto per la determinazione della capacità termica areica di un elemento edilizio, e si basa sul modello delle ammettenze di derivazione inglese. In caso di adozione del metodo semplificato (Appendice A della norma), la capacità termica areica del componente edilizio può essere determinata in accordo con la formula (14)

$$\kappa_m = \sum_j d_j \cdot \rho_j \cdot c_j \quad (14)$$

dove:

ρ è la densità del materiale costituente lo strato j -esimo [Kg/m^3];

c è il calore specifico del materiale costituente lo strato j -esimo [$\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$];

d è lo spessore dello strato costituente lo strato j -esimo [m].

Si ricorda inoltre che in alternativa al calcolo analitico delle capacità termiche areiche dei singoli elementi edilizia, la UNI/TS 11300-1 propone dei valori di C_m precalcolati, in funzione della morfologia dell'edificio, nonché delle caratteristiche costruttive dei componenti edilizi.

Il metodo di calcolo quasi-stazionario, o metodo mensile, proposto all'interno della norma UNI/TS 11300-1, è basato sul bilancio delle dispersioni termiche (trasmissione e ventilazione) e dei guadagni termici (solari e interni) valutati in condizioni medie mensili. Gli effetti dinamici sul fabbisogno netto di energia per il raffrescamento sono tenuti in conto attraverso l'introduzione dei seguenti parametri:

- un fattore di utilizzazione per tenere conto della discordanza tra le dispersioni termiche per trasmissione + ventilazione e gli apporti termici solari + interni, alla base della generazione dei carichi di raffrescamento;
- una correzione della temperatura di regolazione per tenere conto dell'intermittenza o dell'attenuazione del raffrescamento.

I suddetti parametri dipendono dall'inerzia termica dell'edificio, dal rapporto tra apporti termici e dispersioni, e dai profili orari di occupazione e gestione dell'impianto di climatizzazione.

Il fattore di utilizzazione è calcolato diversamente a seconda del valore del rapporto tra i guadagni e le dispersioni termiche γ_H . In caso di valutazione invernale si ha quindi (15):

$$\begin{aligned} - \quad \eta_{H,gn} &= \frac{1 - \gamma_H^{a_H}}{1 - \gamma_H^{a_H+1}} && \text{se } \gamma_H \neq 1 \text{ e } \gamma_H \geq 0 \\ - \quad \eta_{H,gn} &= \frac{a_H}{a_H + 1} && \text{se } \gamma_H = 1 \\ - \quad \eta_{H,gn} &= \frac{1}{\gamma_H} && \text{se } \gamma_H < 0 \end{aligned} \quad (15)$$

dove,

$$\gamma_H = \frac{Q_{H,gn}}{Q_{H,ht}}$$

$$a_H = a_{H,0} + \frac{\tau}{\tau_{H,0}}$$

dove,

$Q_{H,ht}$ è lo scambio termico totale;

$Q_{H,gn}$ è pari alla somma di $Q_{int} + Q_{sol}$ e rappresenta gli apporti termici totali.

τ pari alla costante di tempo termica della zona termica, espressa in ore, calcolata come rapporto tra la capacità termica interna della zona termica considerata (C_m) e il suo coefficiente globale di scambio termico, corretto per tenere conto della differenza di temperatura interno-esterno.

Con riferimento al periodo di calcolo mensile si assume $a_{H,0} = 1$, $\tau_{H,0} = 17 \text{ h}$ e $k = 15$.

In caso di valutazione estiva, $\eta_{C,ls}$ è il parametro dinamico, definito fattore di utilizzazione degli apporti gratuiti, e pari a (16):

$$\begin{aligned}
- \quad \eta_{C,ls} &= \frac{1 - \gamma_C^{-a_C}}{1 - \gamma_C^{-(a_C+1)}} && \text{se } \gamma_C \neq 1 \text{ e } \gamma_C > 0 \\
- \quad \eta_{C,ls} &= \frac{a_C}{a_C + 1} && \text{se } \gamma_C = 1 \\
- \quad \eta_{C,ls} &= 1 && \text{se } \gamma_C < 0
\end{aligned} \tag{16}$$

dove,

$$\gamma_C = \frac{Q_{gn}}{Q_{C,ht}}$$

$$a_C = a_{C,0} \frac{\tau}{\tau_{C,0}} - k \frac{A_w}{A_f}$$

con,

A_w pari all'area finestrata [m^2];

A_f pari all'area di pavimento climatizzata [m^2];

Con riferimento al periodo di calcolo mensile si assume $a_{C,0} = 8,1$, $\tau_{C,0} = 17$ h e $k = 13$.

Il modello di calcolo di tipo dinamico implementato in *EnergyPlus* effettua invece il calcolo termico relativo a ciascuna zona dell'edificio, secondo il modello del bilancio termico dell'aria interna. Esso si basa sulle ipotesi che l'aria all'interno della zona termica sia a temperatura uniforme, che la temperatura di ogni superficie sia uniforme, che la distribuzione della radiazione ad alta e bassa lunghezza d'onda sia uniforme, che l'irraggiamento sulle superfici sia di tipo diffuso e che la conduzione termica attraverso le superfici sia mono-dimensionale. Al netto dello scambio termico dovuto all'infiltrazione ed alla miscelazione dell'aria tra zone adiacenti, l'equazione di bilancio termico dell'aria può essere scritta come (17):

$$c_z \frac{d\theta_z}{d\tau} = \sum_{i=1}^N \dot{Q}_{i,c} + \sum_{i=1}^{N_{surfaces}} h_i A_i (\theta_{s,i} - \theta_z) + \dot{m}_v c (\theta_\infty - \theta_z) + \dot{Q}_{sys} \tag{17}$$

dove,

c_z è la capacità termica che tiene conto del contributo sia dell'aria della zona, sia delle masse termiche considerate in equilibrio termico con l'aria della zona stessa;

θ_z è la temperatura dell'aria nella zona z;

N è il numero di sorgenti termiche interne che generano un carico convettivo $\dot{Q}_{i,c}$;

$h_i A_i (\theta_{s,i} - \theta_z)$ è lo scambio termico convettivo dalle superfici interne a temperatura $\theta_{s,i}$ che racchiudono l'ambiente interno della zona;

$\dot{m}_v c (\theta_\infty - \theta_z)$ è lo scambio termico dovuto alla ventilazione con l'aria esterna;

\dot{Q}_{sys} è l'output dell'impianto di climatizzazione.

Al fine di rendere confrontabili i metodi semplificato quasi-stazionario e dinamico, è necessario quindi non tenere conto delle dispersioni termiche dovute ai ponti termici⁸: mentre infatti la norma 11300-1 ne permette una stima puntuale, in *EnergyPlus* i ponti termici possono essere computati solo come percentuale delle dispersioni termiche globali dell'edificio.

3.4.3 Scambio termico verso il terreno e verso ambienti non riscaldati

In caso di valutazione semplificata, lo scambio termico tra ambiente riscaldato ed esterno, attraverso ambienti non riscaldati, è condotta mediante la valutazione del parametro correttivo b_{tr} , calcolato in funzione del coefficiente globale di scambio termico sia tra l'ambiente riscaldato e l'ambiente non riscaldato, sia tra l'ambiente non riscaldato e l'ambiente esterno, secondo la norma UNI EN ISO 13789. b_{tr} è quindi un fattore di correzione, permette di valutare gli ambienti non riscaldati a temperatura differente rispetto alla temperatura dell'ambiente esterno (18):

$$b_{tr,x} = \frac{H_{ue}}{H_{iu} + H_{ue}} \quad (18)$$

dove,

H_{iu} è il coefficiente globale di scambio termico tra gli ambienti climatizzato e non [W/K];

H_{ue} è il coefficiente globale di scambio termico tra l'ambiente non riscaldato e l'ambiente esterno [W/K].

Sia H_{iu} che H_{ue} includono lo scambio termico per ventilazione.

In caso di scambio termico verso il terreno, per la determinazione del fattore di correzione b_{tr} risulta inoltre necessario il calcolo della trasmittanza termica equivalente dei componenti opachi (pavimento e muratura perimetrale) a contatto con il terreno, secondo quanto previsto dalla norma di riferimento UNI EN ISO 13370.

3.4.4 Ponti termici

I ponti termici nelle costruzioni edilizie producono una modifica del flusso termico e una modifica delle temperature superficiali rispetto a strutture prive di ponti termici. Il calcolo dei flussi termici e delle temperature superficiali può essere effettuato con precisione utilizzando metodi numerici di calcolo dettagliati, in accordo con le UNI EN ISO 10211-1 (flusso termico tridimensionale) e UNI EN ISO 10211-2 (flusso termico bidimensionale). Tuttavia, per ponti termici lineari, possono essere usati metodi semplificati che consentono di ottenere una stima adeguata della trasmittanza termica lineare. La norma tecnica che fornisce metodi semplificati e valori di riferimento del coefficiente di trasmissione termica lineare è la UNI EN ISO 14683:2008.

L'effetto di ponti termici che si ripetono in una parete altrimenti uniforme, come giunti che penetrano nello strato isolante termico o giunti in malta tra blocchi di muratura leggera, deve infine essere incluso nel calcolo della trasmittanza termica del particolare elemento edilizio.

I ponti termici lineari sono generalmente classificati, a seconda della posizione che essi assumono all'interno dell'involucro edilizio, in:

- ponti termici tra elementi esterni (angoli di muri, giunzioni tra muro e copertura o tra muro e pavimento);
- ponti termici tra muri interni e muri esterni e/o coperture;

⁸ Varie simulazioni hanno dimostrato che per l'edificio analizzato tale apporto risulta essere circa il 30% della totalità delle dispersioni termiche per trasmissione.

- ponti termici tra solai di interpiano e muri esterni;
- ponti termici per pilastri in muri esterni;
- ponti termici tra finestre e/o porte e muri.

La norma UNI EN ISO 14683:2008 in Appendice A fornisce valori di riferimento per una serie di ponti termici bi-dimensionali. Tali valori di trasmittanza termica lineare Ψ possono essere utilizzati qualora il valore reale non sia noto, ma possono anche essere utilizzati quando non siano disponibili dettagli sul particolare ponte termico, o nel caso che un valore approssimato di Ψ sia appropriato per l'accuratezza richiesta nella determinazione della perdita totale di calore. La suddetta norma tecnica propone una serie di possibili ponti termici suddivisi a seconda della posizione di questi all'interno dell'edificio e di quella dello strato con maggiore resistenza termica (isolante) all'interno del componente edilizio in esame (sul lato esterno, in mezzo, sul lato interno, ovvero per pareti leggere); i valori di trasmittanza termica lineare forniti dalla norma sono inoltre distinti, per ogni tipologia, in tre casi a seconda che le dimensioni del componente vengano considerate:

- internamente, ossia misurate tra le superfici interne finite di ogni ambiente in un edificio (escluso quindi lo spessore delle partizioni interne); in tal caso il valore di trasmittanza termica lineare è identificato col simbolo Ψ_i ;
- internamente e totali, misurate tra le superfici interne finite degli elementi dell'edificio (incluso quindi lo spessore delle partizioni interne), in tal caso il valore di trasmittanza termica lineare è identificato col simbolo Ψ_{oi} ;
- esternamente, misurate tra le superfici esterne finite degli elementi esterni dell'edificio, in tal caso il valore di trasmittanza termica lineare è identificato col simbolo Ψ_e .

In caso di valutazione semplificata del fabbisogno termico dell'edificio, la trasmittanza termica lineare così determinata deve essere moltiplicata per la lunghezza del ponte termico, e concorre alla determinazione del coefficiente di dispersione termica per trasmissione dell'ambiente climatizzato.

Una sostanziale differenza tra la modellazione con *EnergyPlus* ed il calcolo semplificato risiede nella valutazione dei ponti termici: mentre tali dispersioni termiche per trasmissione sono contemplate nel modello semplificato, adottando una trasmittanza termica lineare ricavabile dalla norma UNI EN ISO 14683:2008 (dati precalcolati) per la lunghezza del ponte termico, una valutazione con *EnergyPlus* non permette di simulare la presenza di ponti termici, se non adottando l'espedito di ipotizzare i medesimi come una sottosuperficie da associare al componente nel quale è presente l'effettivo ponte termico, e caratterizzare tale sottosuperficie attraverso un coefficiente di dispersione termica pari a quello dell'effettivo ponte termico, e medesime caratteristiche termiche dinamiche del componente opaco associato.

3.4.5 Impianti di climatizzazione non convenzionali

Nel presente lavoro si è presa in considerazione la tipologia di impianto di condizionamento a tutt'aria.

In caso di valutazione dinamica, i dati in ingresso al calcolo dei rendimenti dei vari sottosistemi, nonché degli eventuali recuperi termici è condotta in maniera dettagliata. Con particolare riferimento ad *EnergyPlus*, il programma può simulare i più diffusi componenti impiantistici, ed è basato su una scomposizione dei componenti in tre sottosistemi: l'*air loop*, il *plant loop* ed il *condenser loop*. L'*air loop* serve a modellare le reti aerauliche, dalle unità di trattamento dell'aria ai terminali di impianto in ambiente, i *plant loop* ed i *condenser loop* a modellare le reti idroniche (fluido termovettore sotto forma di acqua e fluidi di condensazione) e al loro interno si distinguono in componenti relativi alla domanda (batterie di scambio termico) e componenti relativi all'offerta (generatori di calore, gruppi frigoriferi nel caso di *plant loop*; torri evaporative, pozzi nel caso di *condenser loop*).

Di ausilio alla creazione degli schemi impiantistici sono i *Compact HVAC object*, che consentono di modellare una serie di configurazioni impiantistiche tipo con un numero di dati di input molto

limitato, e che - a seguito di una prima simulazione – danno luogo ad un sistema impiantistico complesso e completo attraverso l'inserimento di una serie di dati di default. Una volta così creato il sistema impiantistico, è ancora possibile andare a modificare e completare il file di input per adattarlo alle condizioni reali dell'impianto da simulare.

In caso di valutazione semplificata, le UNI/TS 11300 parti 2 e 3 suddividono l'impianto nei seguenti sotto-sistemi:

- il sistema di emissione (inclusa la sua regolazione);
- il sistema di distribuzione (inclusa la sua regolazione);
- il sistema di generazione (per esempio caldaie, pannelli solari, pompe di calore, unità di cogenerazione ecc..., inclusa la sua regolazione);
- il sistema di accumulo (inclusa la sua regolazione).

Per ciascun sotto-sistema si valuta prima il fabbisogno di energia in uscita Q_{out} , poi quello in ingresso Q_{in} al lordo delle perdite non recuperate.

L'energia richiesta dall'impianto è calcolata considerando separatamente le due componenti, termica ed elettrica. Analogamente, le dispersioni ed i recuperi sottoforma di calore del sistema sono calcolati separatamente per l'energia termica e l'energia elettrica; i calcoli vengono svolti su base mensile e solo alla fine sommati per ottenere un valore riferito a tutto il periodo di calcolo.

Per la definizione dei rendimenti dei sottosistemi di emissione e di regolazione, le specifiche tecniche prevedono la possibilità di utilizzare dei valori precalcolati, in funzione della tipologia di impianto. Passando alla valutazione del rendimento del sottosistema di distribuzione, la UNI/TS 11300-2 prevede la possibilità di utilizzo dei valori precalcolati, quando però le condizioni sono tra quelle specificate; in caso diverso, il metodo dettagliato dell'appendice A alla specifica medesima. In caso di impianti ad aria calda, la specifica tecnica prevede in ogni caso l'applicazione di metodi analitici, ma non definisce quali: l'appendice A alla specifica tecnica risulta infatti essere una metodologia di calcolo di tipo analitico, ma è specificato che questa può essere applicata solo in caso di fluido termovettore acqua. All'interno della UNI/TS 11300-3, per la valutazione delle dispersioni termiche del sottosistema di distribuzione di impianti ad aria, in caso di climatizzazione estiva, considerano sia le perdine nei canali di distribuzione dell'aria, sia le perdite nelle tubazioni che convogliano o distribuiscono l'acqua refrigerata, mentre le perdite del circuito acqua della torre di raffreddamento sono trascurate; con riferimento alle perdite di distribuzione nelle tubazioni del circuito primario, per il calcolo si rimanda all'appendice A della UNI/TS 11300-2. Si vuole porre in evidenza come tale metodologia di calcolo non sia idonea alla corretta valutazione delle perdite di distribuzione di un circuito primario, in quanto pensata nello specifico per sistemi con fluido termovettore acqua utilizzato nel circuito secondario (collegamento tra centrale termica e terminali in ambiente).

Passando alla valutazione del rendimento del sottosistema di generazione, la UNI/TS 11300-2 prevede la possibilità di utilizzo di valori precalcolati, quando però le condizioni sono tra quelle specificate; in caso diverso metodo dell'appendice B alla specifica medesima. Nell'appendice B sono riportati i due metodi utilizzabili per il calcolo delle perdite di generazione:

- metodo di calcolo basato sui rendimenti dichiarati ai sensi della Direttiva 92/42/CEE, con opportune correzioni in relazione alle condizioni di funzionamento;
- metodo di calcolo analitico.

Con riferimento al sottosistema di generazione in caso di climatizzazione estiva, la UNI/TS 11300-3 prevede la valutazione del coefficiente di prestazione medio mensile del sistema di produzione dell'energia frigorifera, funzione dell'*EER* (Energy Efficiency Ratio), corretto attraverso opportuni coefficienti in caso di assenza di dati riferiti a valori di *EER* corrispondenti a fattori di carico F (rapporto tra la quantità di energia termica erogata nel periodo considerato ed il valore massimo dell'energia erogabile dalla macchina frigorifera nello stesso periodo) diversi da quelli di riferimento (100%, 75%, 50%, 25%), generalmente forniti dal costruttore. L'*EER* si definisce come rapporto tra la potenza frigorifera erogata e la potenza elettrica del compressore installato; l'*EER* quindi può essere assimilato al *COP* (Coefficient of Performance).

Per la valutazione del fabbisogno di energia primaria per la produzione di acqua calda sanitaria attraverso il metodo semplificato della UNI/TS 11300-2, l'energia termica $Q_{h,w}$ richiesta per riscaldare una quantità di acqua alla temperatura desiderata è:

$$Q_{h,w} = \sum_i \rho \cdot c \cdot V_w \cdot (\theta_{er} - \theta_o) \cdot G \quad (19)$$

dove:

ρ è la massa volumica dell'acqua [kg/m³];

c è il calore specifico dell'acqua pari a 1,162 [Wh/kg °C];

V_w è il volume dell'acqua richiesta durante il periodo di calcolo [m³/G];

$$V_w = a \cdot N_u \quad [1/d] \quad (20)$$

dove:

a è il fabbisogno giornaliero specifico;

N_u è il parametro che dipende dalla destinazione d'uso dell'edificio; nel caso di abitazioni il valore è il valore della superficie utile S_u dell'abitazione, espressa in m²;

θ_{er} è la temperatura di erogazione [°C];

θ_o è la temperatura di ingresso dell'acqua fredda sanitaria [°C];

G è il numero dei giorni del periodo di calcolo [d].

A differenza della valutazione di tipo dinamico, in applicazione alla UNI/TS 11300-2 non è possibile definire un profilo orario di utilizzo da parte dell'utenza.

All'energia termica richiesta devono quindi essere aggiunte le perdite dei sottosistemi di erogazione, distribuzione, di accumulo e di generazione, al fine di ottenere il fabbisogno di energia primaria per la produzione di ACS, coerentemente con l'iter di calcolo applicato per la valutazione degli impianti di riscaldamento.

4. BIBLIOGRAFIA

Legislazione

- Legge n. 10 del 09 gennaio 1991, "Norme per l'attuazione del Piano energetico nazionale in materia di uso razionale dell'energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia", Supplemento Ordinario alla Gazzetta Ufficiale n. 13 del 16 gennaio 1991.
- D.P.R. n. 412 del 26 agosto 1993, "Regolamento recante norme per la progettazione, l'installazione, l'esercizio e la manutenzione degli impianti termici degli edifici ai fini del contenimento dei consumi di energia, in attuazione dell'art. 4, comma 4, della legge 9 gennaio 1991, n. 10"; Gazzetta Ufficiale n. 96 del 14 ottobre 1993.
- D. Lgs. n. 192 del 19 agosto 2005, "Attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico degli edifici", Supplemento Ordinario alla Gazzetta Ufficiale n. 222 del 23 settembre 2005.
- D. Lgs. n. 311 del 29 dicembre 2006, "Disposizioni correttive ed integrative al decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192, recante attuazione della direttiva 2002/91/CE, relativa al rendimento energetico nell'edilizia", Supplemento Ordinario alla Gazzetta Ufficiale n. 26 del 1 febbraio 2007.
- D.P.R. n. 59 del 2 aprile 2009, "Regolamento di attuazione dell'articolo 4, comma 1, lettere a) e b), del decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192, concernente attuazione della direttiva 2002/91/CE sul rendimento energetico in edilizia", Gazzetta Ufficiale n. 132 del 10 giugno 2009.
- D.M. 26 giugno 2009, "Linee Guida Nazionali per la Certificazione Energetica degli Edifici", Gazzetta Ufficiale n. 158 del 10 Luglio 2009.

Normativa Tecnica

- UNI 10348:1993, *Riscaldamento degli edifici – Rendimenti dei sistemi di riscaldamento – Metodo di calcolo.* → norma ritirata
- UNI 10349:1994, *Riscaldamento e raffrescamento degli edifici. Dati climatici.*
- UNI 10351:1994, *Materiali da costruzione. Conduttività termica e permeabilità al vapore.*
- UNI 10355:1994, *Murature e solai – Valori della resistenza termica e metodo di calcolo.*
- UNI 10375:1995, *Metodo di calcolo della temperatura interna estiva degli ambienti.*
- UNI EN 13363-1:2008, *Dispositivi di protezione solare in combinazione con vetrate – Calcolo della trasmittanza solare e luminosa – Parte 1: Metodo semplificato.*
- UNI EN 13363-2:2006, *Dispositivi di protezione solare in combinazione con vetrate – Calcolo della trasmittanza solare e luminosa – Parte 2: Metodo di calcolo dettagliato.*
- UNI EN 15316-1:2008, *Impianti di riscaldamento degli edifici - Metodo per il calcolo dei requisiti energetici e dei rendimenti dell'impianto - Parte 1: Generalità.*
- UNI EN 15316-2-1:2008, *Impianti di riscaldamento degli edifici - Metodo per il calcolo dei requisiti energetici e dei rendimenti dell'impianto - Parte 2-1: Sistemi di emissione del calore negli ambienti.*
- UNI EN 15316-2-3:2008, *Impianti di riscaldamento degli edifici - Metodo per il calcolo dei requisiti energetici e dei rendimenti dell'impianto - Parte 2-3: Sistemi di distribuzione del calore negli ambienti.*
- UNI EN 15316-4-1:2008, *Impianti di riscaldamento degli edifici - Metodo per il calcolo dei requisiti energetici e dei rendimenti dell'impianto - Parte 4-1: Sistemi di generazione per il riscaldamento degli ambienti, sistemi a combustione (caldaie).*

- UNI CEN/TR 15615:2008, *Spiegazione della relazione generale tra le varie norme europee e la direttiva sulla prestazione energetica degli edifici (EPBD) - Documento riassuntivo.*
- UNI EN ISO 6946:2008, *Componenti ed elementi per edilizia – Resistenza termica e trasmittanza termica – Metodo di calcolo.*
- UNI EN ISO 7345:1999 – *Isolamento termico – Grandezze fisiche e definizioni.*
- UNI EN ISO 10077-1:2007, *Prestazione termica di finestre, porte e chiusure oscuranti – Calcolo della trasmittanza termica – Parte 1: Generalità.*
- UNI EN ISO 10077-2:2004, *Prestazione termica di finestre, porte e chiusure oscuranti – Calcolo della trasmittanza termica – Metodo numerico per i telai.*
- UNI EN ISO 10211-1:2008, *Ponti termici in edilizia – Calcolo dei flussi termici e delle temperature superficiali – Calcoli dettagliati*
- UNI EN ISO 13370:2008, *Prestazione termica degli edifici – Trasferimento di calore attraverso il terreno – Metodi di calcolo.*
- UNI EN ISO 13786:2008, *Prestazione termica dei componenti per l’edilizia – Caratteristiche termiche dinamiche – Metodi di calcolo.*
- UNI EN ISO 13788:2003, *Prestazione igrometrica dei componenti e degli elementi per l’edilizia – Temperatura superficiale interna per evitare l’umidità superficiale critica e condensazione interstiziale – Metodo di calcolo.*
- UNI EN ISO 13789:2008, *Prestazione termica degli edifici – Coefficiente di perdita di calore per trasmissione – Metodo di calcolo.*
- UNI EN ISO 13790:2008, *Prestazione energetica degli edifici - Calcolo del fabbisogno di energia per il riscaldamento e il raffrescamento.*
- UNI EN ISO 14683:2008, *Ponti termici in edilizia – Coefficiente di trasmissione termica lineica – Metodi semplificati e valori di riferimento.*
- CTI R 03/3, *Prestazioni energetiche dell’edificio – Climatizzazione invernale e preparazione acqua calda per usi igienico-sanitari.*
- UNI/TS 11300-1:2008, *Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell’edificio per la climatizzazione estiva ed invernale.*
- UNI/TS 11300-2:2008, *Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 2: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria.*
- UNI/TS 11300-3:2010, *Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 3: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione estiva.*

Siti internet e materiale informatizzato

- AIPE – Associazione Italiana Polistirene Espanso, *Calcolo dei parametri termici dinamici dei componenti edilizi secondo la norma ISO/FDIS 13786:2007*, a cura di V. Corrado (Politecnico di Torino), foglio di calcolo.
- ANIT – Associazione Nazionale per l’Isolamento Termico e acustico, www.anit.it
- *Applying the EPBD to improve the Energy Performance Requirements – ENPER*, www.enper.org
- CTI – Comitato Termotecnico Italiano, www.cti2000.it
- CDA – Condizionamento dell’aria riscaldamento refrigerazione, www.webcda.it
- EDILCLIMA – Informazione tecnica per l’edilizia, www.edilportale.com

Monografie, pubblicazioni e riviste

- C. Aghemo, C. Azzolino, *Il progetto dell'elemento di involucro opaco, materiali e tecniche per l'isolamento termico, ponti termici e analisi termoigrometrica*, Celid, Torino 1996.
- I. Ballarini, A. Capozzoli, V. Corrado, *A validation of the quasi-steady state building energy model by a dynamic numerical analysis*, Proceedings of the 10th REHVA World Congress "Sustainable Energy Use in Buildings" (CLIMA 2010), Antalya (Turchia), 9-12 Maggio 2010.
- C. Bonacina, A. Cavallini, L. Mattarolo, *Trasmissione del calore*, Cleup, Padova 1989.
- C. Carletti, F. Sciarpi (a cura di), *Passivhaus – Evoluzione energetica e comfort ambientale negli edifici italiani*, Pitagora, Bologna 2005.
- CNR, ENEA, *Guida al controllo energetico della progettazione*, Edizioni CNR ed ENEA, Roma 1985.
- M. Filippi, V. Serra (a cura di), *Schede di Climatizzazione*, Politeko, Torino 2002.
- A. Magrini, *Trasmissione del vapore e condensazione*, Studioemme Edizioni, Vicenza 2001.
- D.R. Wulfinghoff, *Energy Efficiency Manual*, Energy Institute Press, Wheaton (Maryland, USA) 1999.
- EnergyPlus: the official building simulation program of the United States Department of Energy, EnergyPlus Manual. Version 3.1, 2009.
- F. Barosso, A. Gerbotto, *La certificazione energetica degli edifici, il punto di vista degli ingegneri*, in «Ingegneritorino», n. 1, gennaio/marzo 2005.
- V. Corrado, *La nuova normativa italiana ed europea sulla certificazione energetica degli edifici*, in «Ingegneritorino», n. 1, gennaio/marzo 2005.
- V. Corrado, S. Paduos, *Prestazione termica dinamica dei componenti edilizi In regime di sollecitazione dinamica: modelli di calcolo a confronto*, 64° Congresso Nazionale ATI, L'Aquila: settembre 2009.
- V. Corrado, S. Paduos, *Building Envelope Analysis in summer: dynamic thermal parameters and calculation methods*, 4th International Building Physics Conference, Istanbul: June 2009.
- V. Corrado, S. Paduos, *Il progetto termico dell'involucro opaco: l'effetto della massa sulla prestazione termica ed energetica dell'edificio*, 63° Congresso Nazionale ATI, Palermo: settembre 2008.
- V. Corrado, S. Paduos, *A new building design approach to comply with the recent Italian Energy regulations*, congresso mediterraneo di climatizzazione Climamed 2007, Genova: settembre 2007.
- V. Corrado, M. Serraino, *Il nuovo quadro legislativo italiano sull'efficienza energetica degli edifici – D. Lgs. 192/2005 + D. Lgs. 311/2006*, Rockwool, Milano, 2007.
- M. Filippi, *Linee di ricerca per una procedura finalizzata alla certificazione energetica degli edifici*, in «Ingegneritorino», n. 1, gennaio/marzo 2005.
- Isover, *Manuale tecnico 2007*, Isover Italia, Vidalengo di Caravaggio (Bg), 2007.
- V. Lattanzi, M. Presutto, *La certificazione energetica per gli edifici residenziali: problematiche di attuazione*, in «Ingegneritorino», n. 1, gennaio/marzo 2005.
- S. Paduos, *Lo sviluppo sostenibile*, Quaderni di bioedilizia, vol. 8, Forte Chance piemonte, Torino: 2009.
- S. Paduos, *Caratterizzazione termica dinamica dell'involucro edilizio: verso la definizione di un indice di qualità termica estiva dell'ambiente costruito*, tesi di dottorato, Politecnico di Torino: maggio 2010.