



POLITECNICO DI MILANO
Facoltà di Architettura e Società
Corso di Laurea Specialistica in Architettura
Orientamento Tecnologico Strutturale – T.S.6

La valutazione energetica in edilizia

Dal regime stazionario al regime periodico stabilizzato

Relatore: prof. Adriana Angelotti

Tesi di laurea specialistica di:

Arianna PIVOTTO Matr. 709385

Anno accademico 2009-2010

Alla mia famiglia

INDICE

1	INTRODUZIONE.....	Errore. Il segnalibro non è definito.	1
2	RICHIAMI DI TERMOFISICA E DEFINIZIONI		2
2.1	IL COMPORTAMENTO TERMICO DELLE PARETI.....		3
2.2	IL FABBISOGNO ENERGETICO.....		11
2.3	I DATI CLIMATICI.....		21
3	LEGISLAZIONE ITALIANA SUL CONTENIMENTO DEI CONSUMI ENERGETICI DEGLI EDIFICI .	Errore. Il segnalibro non è definito.	28
3.1	EVOLUZIONE DAGLI ANNI '70 AD OGGI.....		29
3.2	CONFRONTO DEI DECRETI LEGISLATIVI.....		38
4	METODOLOGIA DI LAVORO		45
4.1	STRUMENTO DI LAVORO: ENERGY PLUS.....		46
4.2	PROGETTO		53
4.3	INSERIMENTO IN DIVERSI CONTESTI.....		66
4.4	DUE TIPOLOGIE DI SIMULAZIONE... Errore. Il segnalibro non è definito.		68
5	RISULTATI.....		72
5.1	CONFRONTO PRESTAZIONI DEI PACCHETTI CONSIDERANDO LA SITUAZIONE A EVOLUZIONE LIBERA.....		73
5.2	CONFRONTO PRESTAZIONI DEI PACCHETTI CONSIDERANDO L'I NSERIMENTO DI IMPIANTI E RELATIVO CALCOLO DEL FABBISOGNO ENERGETICO.....		99
6	CONCLUSIONI		109
7	BIBLIOGRAFIA		110

INTRODUZIONE

Questo lavoro di tesi si concentra sulla valutazione energetica in edilizia e dell'evoluzione che essa ha presentato durante il corso degli ultimi anni.

Lo scopo di questo lavoro è lo studio dei parametri che caratterizzano la termodinamica dell'edificio e dei parametri che ne determinano la valutazione energetica, andando a specificare l'evoluzione di questi procedimenti sia a livello normativo, sia a livello di calcolo.

Il passaggio fondamentale che è stato evidenziato durante l'analisi degli aspetti termodinamici dell'edificio, è stato quello tra lo studio della trasmissione di calore a regime stazionario allo studio della trasmissione di calore in condizioni di regime periodico stabilizzato.

Tale sviluppo è stato analizzato parallelamente alle normative degli ultimi anni, che hanno introdotto nelle richieste di valutazione i parametri che definiscono tale regime variabile.

Questo studio, durante il lavoro di tesi, è stato sperimentato attraverso lo sviluppo di una simulazione di prova, prendendo come oggetto un semplice edificio residenziale e analizzato attraverso Energy Plus, programma di calcolo americano, attualmente il più sviluppato al mondo.

Tale simulazione è stata realizzata mettendo a confronto differenti contesti climatici, differenti soluzioni di involucri dell'edificio, analizzando tutti i parametri di influenza, sia fisici, propri dei materiali, sia i parametri legati al contesto, fino al calcolo del fabbisogno energetico annuo.

2 RICHIAMI DI TERMOFISICA E DEFINIZIONI

2.1 IL COMPORTAMENTO TERMICO DELLE PARETI

Lo studio del comportamento termico delle pareti permette di arrivare a definire il flusso di calore attraverso quest'ultime; le dispersioni (nel caso invernale) e le rientrate (nel caso estivo) termiche sono le componenti del flusso di calore e dipendono principalmente dalle caratteristiche geometriche e termofisiche delle pareti esterne, dalle condizioni climatiche esterne e dalle condizioni di temperatura che si vogliono imporre all'ambiente interno. Le dispersioni termiche sono trasmissione di calore attraverso l'involucro dovuto alla differenza di temperatura tra interno ed esterno, e all'introduzione, attraverso l'involucro, di aria dall'esterno all'interno (infiltrazioni, ricambi d'aria).

I parametri fondamentali che definiscono il comportamento di una parete esterna possono essere così riassunti:

- conduttività termica interna λ ,
- spessore s ,
- calore specifico c_p ,
- coefficiente di adduzione sulla parete esterna (h_e) e sulla parete interna (h_i),
- coefficiente di assorbimento per la radiazione solare a_s (per le pareti opache alla radiazione solare),
- coefficiente di trasparenza per la radiazione solare t_s (per le pareti trasparenti alla radiazione solare).

Sono due le in cui è possibile studiare il comportamento delle pareti:

- condizione di regime stazionario;
- condizione di regime variabile.

In condizione di regime stazionario (considerando dunque il flusso di calore costante nel tempo) le caratteristiche termofisiche delle pareti sono essenzialmente connesse con il coefficiente globale di

trasmissione termica **U** e con coefficienti di assorbimento (per le pareti opache) o di trasparenza (per le pareti trasparenti) alla radiazione solare.

La trasmittanza termica **U**, secondo la UNI EN ISO 6946, si definisce come il flusso di calore che attraversa una superficie unitaria sottoposta a differenza di temperatura pari ad 1°C ed è legata alle caratteristiche del materiale che costituisce la struttura e alle condizioni di scambio termico liminare e si assume pari all'inverso della sommatoria delle resistenze termiche degli strati:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{s}{\lambda} + \frac{1}{h_e}}$$

Dove:

- **1/h_i** = resistenza termica di ammissione in cui h_i è l'adduttanza sulla superficie interna della struttura misurata in W/m²K;
- **1/h_e** = resistenza termica di emissione in cui h_e è l'adduttanza sulla faccia esterna della parete misurata in W/m²K;
- **s/ λ** = resistenza termica di uno o più strati di materiale omogeneo in cui s è lo spessore dello strato misurato in m e λ è la conduttività termica del materiale in W/mK;

Nel caso di uno strato di materiale non omogeneo, la resistenza termica dello strato non verrà espressa con s/ λ, quindi considerando il rapporto tra spessore e conduttività, ma dal parametro 1/C, ovvero utilizzando la conduttanza unitaria C dello strato espressa in W/m²K che dipende dallo spessore dello strato e dalla emissività delle superfici che si affacciano sull'intercapedine.

Se si dovesse dunque definire il flusso termico, sarebbe:

$\Phi = U (t_e - t_i)$, quindi il prodotto tra trasmittanza e la differenza di temperatura tra interno ed esterno, definizione che però non è completa perché bisogna tenere conto anche dell'irraggiamento, poiché è evidente che la trasmissione di calore attraverso una parete irraggiata dal sole è maggiore di quando non sia sottoposta a radiazione. Non è dunque sufficiente prendere in considerazione la trasmittanza U della parete e della temperatura interna ed esterna dell'aria, ma bisogna tener conto anche della temperatura superficiale della parete o dell'energia assorbita dalla parete stessa.

La parte di energia incidente viene infatti assorbita e trasformata in calore, trasmesso dalla faccia esterna a quella interna per conduzione, da sommare alla parte trasmessa per convezione.

È stato a questo punto introdotto il termine di “temperatura fittizia esterna” (t'_e): è il valore che dovrebbe assumere la temperatura esterna per assicurare, senza radiazione solare, un flusso di calore pari a quello che si ha con una certa temperatura di parete ed una definita radiazione incidente. Tale parametro viene così definito:

$$t'_e = (I_\alpha / h_e + t_e)$$

Dove:

- I_α = radiazione incidente assorbita dalla parete
- h_e = coefficiente liminare aria esterna/superficie
- t_e = temperatura dell'aria esterna

Quindi in condizione di regime stazionario, il flusso di calore di una parete irraggiata è definito dalla trasmittanza e dalla temperatura fittizia esterna:

$$\Phi = U (t'_e - t_i)$$

Fino ad ora dunque è stato spiegato il calcolo del flusso termico che attraversa una parete opaca irraggiata in condizioni in cui vengono mantenuti costanti:

- temperatura dell'aria interna ed esterna,
- intensità della radiazione diretta e diffusa,
- coefficienti convettivi tra aria interna ed esterna.

Bisogna però sottolineare che tale soluzione, cioè a regime stazionario, non è completa per calcolare i flussi termici che effettivamente attraversano la parete.

La radiazione solare che colpisce generalmente la parete non conserva costanti nel tempo:

- inclinazione della radiazione,
- intensità della radiazione diretta e diffusa,
- temperatura dell'aria interna ed esterna,

che risultano in realtà essere delle condizioni variabili durante l'arco della giornata, mentre si possono considerare approssimativamente condizioni costanti i coefficienti convettivi dell'aria.

Per una progettazione più corretta bisognerebbe dunque calcolare il flusso di calore nelle varie ore del giorno attraverso una parete sollecitata da variabili nel tempo.

Il problema si risolve per una parete indefinita quando la temperatura fittizia esterna e la temperatura interna siano funzioni periodiche nel tempo e ponendo come condizione che i coefficienti convettivi abbiano invece valore costante nel tempo.

Il flusso termico Φ_t al tempo t generico è dato dalla relazione:

$$\Phi_t = U [(t_{em} - t_i) + f (t_{e-t\Delta t} - t_{em})]$$

considerando il caso in cui la temperatura fittizia interna è costante e quella esterna è una funzione sinusoidale del tempo.

Dove:

- U = coefficiente globale di trasmissione
- t_{em} = valore medio della temperatura fittizia esterna
- $t_{e,t+\Delta t}$ = valore della temperatura fittizia esterna in un istante $t+\Delta t$ precedente all'istante t in cui voglio calcolare il flusso
- f = coefficiente adimensionale, smorzamento
- Δt_f = ritardo di fase

Il flusso termico è dunque la somma di un termine costante, cioè il flusso che si ha a temperatura fittizia esterna costante e uguale a t_{em} , e un termine sinusoidale che considera i differenti valori assunti dalla temperatura fittizia esterna all'interno di un range Δt di un certo numero di ore.

Il fenomeno per cui le sollecitazioni termiche imposte a una parete si trasmettono attraverso di essa con un determinato ritardo, viene definito inerzia termica.

La parete dunque costituisce l'involucro che trasmette le sollecitazioni termiche provenienti dall'esterno, ma in modo smorzato o ritardato. L'inerzia termica dipende dal tipo di struttura che compone la parete, leggera o pesante, in particolar modo è determinata da:

- densità,
- calore specifico,
- conducibilità del materiale,
- massa.

Un metodo semplificativo per risolvere il problema della variabilità delle condizioni climatiche esterne è il cosiddetto **regime periodico stabilizzato**: esso suppone che la temperatura interna rimane costante, mentre quella esterna varia con legge periodica sulle 24 ore.

In tale ipotesi il flusso termico specifico che attraversa la parete (supposta omogenea) può essere espresso mediante la:

$$q' = U (T_m - T_i) + f \cdot h_i \cdot \theta \cdot \cos (\omega\tau - \Delta t_f)$$

Dove:

- **f** = smorzamento, attenuazione
- **Δt_f** = ritardo di fase, sfasamento
- **θ** = semiampiezza di oscillazione = $T_{max} - T_m$
- **h_i** = coefficiente di adduzione interno
- **T_i** = temperatura interna (costante)
- **T_m** = temperatura media esterna attorno alla quale oscilla, con periodo fissato, la temperatura dell'aria esterna:

$$T_e = T_m + \theta \cdot \cos \omega\tau$$

Quest'ultima esprime la funzione sinusoidale che esprime l'andamento della temperatura esterna **T_e** in funzione del tempo τ , per ω (pulsazione) posta pari a $2\pi/24$, che rappresenta l'armonica fondamentale dello sviluppo in serie di Fourier, a cui può essere ricondotta la funzione periodica che esprime l'andamento della temperatura ambientale.

È importante inoltre sottolineare che i parametri **f** (smorzamento) e **Δt_f** (ritardo di fase), sono funzioni non solo delle caratteristiche di propagazione del calore della parete (s/λ), ma anche delle caratteristiche di inerzia ($\lambda c_p \rho$), parametro chiamato effusività, secondo i valori assegnati dei coefficienti di adduzione e di pulsazione.

Il secondo aggiornamento del Protocollo ITACA, documento per la valutazione della sostenibilità ambientale, è stato presentato a Roma l'11 Aprile 2007, e richiama in modo importante i parametri di attenuazione e sfasamento. Tale documento è stato sviluppato dal Comitato Tecnico del gruppo di lavoro interregionale in

materia di Bioedilizia in collaborazione iSBE Italia e con il supporto tecnico scientifico di ITC CNR e dell'Università Politecnica delle Marche.

Il Protocollo ITACA permette di stimare il livello di qualità ambientale di un edificio in fase di progetto, misurandone la prestazione rispetto a 12 criteri e 8 sottocriteri suddivisi in 2 aree di valutazione, secondo lo schema seguente:

1. Consumo di risorse

- 1.1. contenimento consumi energetici invernali
 - 1.1.1. energia primaria per la climatizzazione invernale
 - 1.1.2. trasmittanza termica involucro edilizio
- 1.2. acqua calda sanitaria
- 1.3. contenimento consumi energetici estivi
 - 1.3.1. controllo della radiazione solare
 - 1.3.2. inerzia termica
- 1.4. illuminazione naturale
- 1.5. energia elettrica da fonti rinnovabili
- 1.6. materiali eco-compatibili
 - 1.6.1. materiali rinnovabili
 - 1.6.2. materiali riciclati/recuperati
- 1.7. acqua potabile
 - 1.7.1. consumo di acqua potabile per irrigazione
 - 1.7.2. consumo di acqua potabile per usi indoor
- 1.8. mantenimento delle prestazioni dell'involucro edilizio

2. Carichi ambientali

- 2.1. emissione di gas serra
- 2.2. rifiuti solidi
- 2.3. rifiuti liquidi
- 2.4. permeabilità aree esterne

In base alla specifica prestazione, l'edificio per ogni criterio e sottocriterio riceve un punteggio che può variare da -2 a +5. Lo zero rappresenta lo standard di paragone (benchmark) riferibile a quella

che deve considerarsi come la pratica costruttiva corrente, nel rispetto delle leggi o dei regolamenti vigenti.

In particolar modo nel sottocriterio 1.3.2, il documento attribuisce all'inerzia termica della parete un punteggio sulla base dei parametri di attenuazione e sfasamento:

Fattore di attenuazione (f)	Fattore di sfasamento (Δt_f)	Punteggio
0,60	6	-2
0,48	7	-1
0,40	8	0
0,35	9	1
0,30	10	2
0,20	11	3
0,15	12	4
0,12	14	5

Il DLG n°VIII/8745 del 2009 (vedi Cap. 3) introduce una ulteriore verifica in regime dinamico, una nuova richiesta rispetto al Decreto Nazionale, rivolta alle località con valore medio mensile dell'irradianza sul piano orizzontale maggiore o uguale a 290 W/mqK: è la verifica dei valori massimi accettati della trasmittanza termica periodica Y_{IE} . Tale parametro valuta la capacità di una parete opaca di sfasare ed attenuare il flusso termico che la attraversa nell'arco delle 24 ore (norma UNI EN ISO 13786:2008).

2.2 IL FABBISOGNO ENERGETICO

Per fabbisogno energetico si intende la quantità di energia primaria che deve essere fornita nel corso di un anno agli ambienti riscaldati che costituiscono un edificio, per mantenere una determinata temperatura costante (20°) definita dalla normativa, che stabilisce inoltre il periodo di riscaldamento per le diverse zone climatiche.

Tale calcolo tiene conto anche delle modalità d'uso degli ambienti, delle caratteristiche costruttive e delle perdite degli impianti di riscaldamento o raffreddamento.

Considerato il regime dinamico che governa il comportamento termico degli edifici, non è così immediata la valutazione del fabbisogno energetico.

Per facilitare tale valutazione sono stati sviluppati appositi programmi di calcolo che simulano nel dettaglio gli scambi termici, la ventilazione e l'impianto di climatizzazione. Questi programmi si basano sulla raccolta di numerose informazioni di dettaglio sull'edificio, un data base, tali da renderli fin troppo specifici e inadatti alle prime fasi progettuali, momento in cui però sono fondamentali le scelte ai fini energetici ed ambientali.

Per questo limite dei programmi di simulazione sono stati sviluppati anche altri metodi, derivati dai modelli di simulazione, che permettono di eseguire lo stesso tipo di valutazione, meno precisa, ma molto più semplicemente.

Uno di questi è il metodo CEN, che si basa sui concetti del fattore di utilizzazione degli apporti gratuiti di energia; si parla di "efficienza" di utilizzazione che dipende dalle caratteristiche geometriche e termofisiche e dal rapporto tra guadagni e perdite, tenendo però in considerazione anche la radiazione solare entrante nell'edificio ed il

calore prodotto dalle fonti energetiche interne. Le principali caratteristiche del metodo di calcolo CEN sono:

- Considera come fattori che influenzano il fabbisogno di energia e che quindi contribuiscono al bilancio energetico:
 - clima esterno
 - livello di isolamento (dispersioni attraverso l'involucro)
 - tenuta alle infiltrazioni dagli infissi e ricambi d'aria
 - temperatura di progetto interna, che può essere diversa nelle differenti parti di edificio (edifici multizona) o in periodi diversi del giorno (attenuazione notturna)
 - caratteristiche solari dell'edificio (orientamento, dimensione, tipologia delle finestrature)
 - fonti di calore interne (cucina, persone, apparecchiature elettriche)
 - caratteristiche dell'impianto di riscaldamento (generazione, distribuzione, sistemi di controllo ecc.)
 - comportamento degli abitanti, fattore di difficilissima valutazione, per cui in tale metodo di calcolo viene semplificato facendo riferimento ad un comportamento medio convenzionale.
- Considera come dati climatici quelli medi mensili, poiché il metodo di calcolo prevede che il calcolo delle perdite e dei guadagni venga effettuato su base mensile (ricordando però che i risultati corretti sono quelli su base annuale), oppure considera quelli in riferimento al periodo di riscaldamento.
- Basa il bilancio termico su:
 - perdite per trasmissione, infiltrazioni e ventilazione
 - guadagni interni (persone, elettrodomestici...)
 - guadagni solari
 - calore fornito dall'impianto di riscaldamento.

- Utilizza tale procedura di calcolo:
 - studio dell'edificio e suddivisione in zone riscaldate, se occorre anche zone a temperatura diversa, e zone non riscaldate
 - calcolo delle dispersioni (comprese quelle per trasmissione e per ventilazione) tra ciascuna zona, l'esterno ed il terreno. Il calcolo considera una temperatura interna dell'aria costante 24 ore al giorno per tutti i giorni del periodo di riscaldamento
 - calcolo dei flussi termici per trasmissione e ventilazione fra le diverse zone
 - calcolo dei guadagni solari e quelli interni
 - calcolo del fattore di utilizzazione dei guadagni, sulla base del rapporto guadagni/perdite e della inerzia termica della zona
 - calcolo del fabbisogno netto di energia di ciascuna zona, mese per mese, come differenza tra perdite e guadagni netti
 - calcolo del fabbisogno totale annuo di energia dell'edificio (sommando quello di tutte le zone, per tutti i mesi).

Per il calcolo di dispersioni per trasmissione, si indica con Q_t il calore disperso a causa della differenza di temperatura dell'aria fra una zona riscaldata e l'esterno, e si ha:

$$Q_t = H_t (t_i - t_e) \times 3600 \times 24 \times N$$

Con:

$$H_t = \sum K_i S_i + \sum K_j S_j + \sum K_k I_k$$

Dove:

- H_t = dispersione termica specifica fra la zona a temperatura uniforme e l'esterno (W/K)
- t_i = temperatura interna di progetto della zona ($^{\circ}$ C)
- t_e = temperatura esterna media mensile ($^{\circ}$ C)
- K_i = coefficiente di trasmissione della parete i
- S_i = area della parete i
- K_j = coefficiente di trasmissione della superficie vetrata j
- S_j = area della superficie vetrata j
- K_k = coefficiente lineico del ponte termico k
- l_k = lunghezza del ponte termico k
- N = numero di giorni del mese.

Si considera invece la quantità globale di energia Q_v perduta dalla zona per effetto della ventilazione e delle infiltrazioni di aria esterna durante un mese e viene espressa in:

$$Q_v = H_v (t_i - t_e) \times 3600 \times 24 \times N$$

Dove:

- $H_v = \rho c G$
- G = portata volumetrica dell'aria di ventilazione o infiltrazioni
= Nv (m^3/h)
- c = calore specifico a pressione costante dell'aria
= 1000 (J/kg K)
- ρ = densità dell'aria = 1,2 (kg/m^3)
- n = numero di ricambi d'aria all'ora
- V = volume della zona.

La dispersione termica totale Q_{tot} sarà quindi il risultato della somma delle differenti dispersioni calcolate.

I guadagni interni Q_i sono la somma di tutte le quantità di calore generate nell'ambiente, escluso quello prodotto dall'impianto di riscaldamento, cioè il calore prodotto da:

- dal metabolismo degli occupanti
- dal cucinare
- dal funzionamento delle apparecchiature elettriche
- dalle lampade.

Mentre per quanto riguarda i guadagni solari bisogna considerare che le superfici che raccolgono maggiormente tale energia sono principalmente quelle vetrate, ma anche le pareti opache esposte al sole. I guadagni solari Q_s sono generalmente riassunti in:

$$Q_s = [\sum (I_{tj} \sum S_{eij})] N$$

Dove:

- I_{tj} = energia solare giornaliera media mensile incidente su una superficie unitaria avente esposizione j
- S_{eij} = area equivalente della superficie i avente esposizione j .

Il fattore molto importante utilizzato da tale metodo di calcolo è il fattore di utilizzazione η , fattore di riduzione da applicare ai guadagni di calore (solare Q_s e interni Q_i) per tenere conto del comportamento dinamico dell'edificio e del sistema di controllo dell'impianto.

Si può definire il rapporto tra dispersioni totali, per trasmissione, ventilazione e infiltrazioni, indicate con $Q_p = Q_t + Q_v$, e guadagni totali, indicati con $Q_g = Q_s + Q_i$, attraverso:

$$\gamma = Q_g / Q_p$$

In un edificio ideale con inerzia termica infinita e riscaldando con un impianto capace di mantenere la temperatura sempre perfettamente costante, la relazione fra η e γ sarebbe:

$$\eta = 1 \text{ se } \gamma \leq 1$$

$$\eta = 1/\gamma \text{ se } \gamma > 1$$

Per arrivare dunque a calcolare il fabbisogno di energia, si calcolano le dispersioni Q_p , i guadagni Q_g e η mese per mese, ottenendo così il fabbisogno di ciascuna zona Q_f mediante:

$$Q_f = Q_p - \eta Q_g$$

Il fabbisogno totale stagionale è dato dalla somma di quelli mensili:

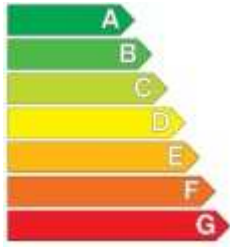
$$Q_{f,tot} = \sum Q_f$$

I mesi interessati dal calcolo sono quelli compresi nella stagione di riscaldamento, la cui lunghezza, in Italia è convenzionalmente fissata (DPR 412/93 e DPR 551/99, *Vedi Cap. 3*).

Mentre per il calcolo annuale si usano i dati climatici medi ottenuti facendo la media di quelli mensili e calcolando dispersioni e guadagni sull'intero periodo di riscaldamento.

Fino al 2007, il tema energetico, sul piano legislativo, rimase in una situazione confusa con disposizioni cogenti portate in ambiti disciplinari diversi, e azioni indipendenti delle Regioni e Province. Sul piano normativo vi era una situazione complessa, con norme e procedure di calcolo emanate localmente, dagli esiti incerti e che portano a risultati talora assai diversi, dati che rendevano chiara la necessità di un metodo di calcolo unico.

Nel 2008, dopo un lungo periodo di inchiesta, sono state pubblicate le nuove norme per determinare il fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale: si tratta di specifiche tecniche raccolte all'interno della UNI/TS 11300, elaborate dal Comitato Termotecnico Italiano (CTI) e trattano le prestazioni energetiche degli edifici. Tali specifiche sono in linea con le norme elaborate dal CEN per il supporto alla Direttiva europea 2002/91/CE.



Lo scopo è quello di fornire univocità di valori e di metodi per consentire la riproducibilità dei risultati e il loro confronto.

La normativa si suddivide in due parti. Una prima parte:

- **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"*

definisce le modalità per l'applicazione nazionale della UNI EN ISO 13790:2008 ("Prestazione energetica degli edifici - Calcolo del fabbisogno di energia per il riscaldamento e il raffrescamento") con riferimento al metodo mensile per il calcolo dei fabbisogni di energia termica per riscaldamento e per raffrescamento. La specifica tecnica è rivolta alle applicazioni previste dalla UNI EN ISO 13790:2008 quali calcolo di progetto (design rating), valutazione energetica di edifici attraverso il calcolo in condizioni standard (asset rating) o in particolari condizioni climatiche e d'esercizio (tailored rating).

- **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"*

fornisce dati e metodi per la determinazione del fabbisogno di acqua calda sanitaria; dei rendimenti e dei fabbisogni di energia elettrica degli ausiliari dei sistemi di riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria; dei fabbisogni di energia primaria per la climatizzazione invernale e la produzione dell'acqua calda sanitaria.

La UNI/TS 11300-1 fornisce linee guida e dati d'ingresso per calcolare:

- lo scambio termico per trasmissione e ventilazione dell'edificio quando riscaldato o raffrescato a temperatura interna costante,
- il contributo delle sorgenti di calore interne e solari al bilancio termico dell'edificio,
- i fabbisogni annuali di energia per riscaldamento e raffrescamento per mantenere le temperature di set-point.

La metodologia che tali specifiche tecniche stabiliscono per il calcolo del fabbisogno energetico per il riscaldamento Q_h , con il metodo mensile, rimane quasi invariata rispetto a quelle utilizzate precedentemente.

Le novità principali apportate sono:

- il metodo di calcolo per il fabbisogno energetico per il raffrescamento (sensibile),
- l'approccio semplificato per la valutazione dei consumi negli edifici esistenti.

I parametri che tale metodo utilizza per il calcolo del fabbisogno sono:

- temperatura interna
- dati climatici
- durata della stagione di riscaldamento (DPR 412/93) e raffrescamento (periodo nel quale è necessario l'intervento dell'impianto per non superare la temperatura interna di progetto)
- parametri tipologici e di trasmissione termica (con indicazioni su come procedere per valutare ponti termici e dispersioni verso il terreno negli edifici esistenti)
- ventilazione naturale e/o meccanica
- apporti termici interni e solari

- parametri dinamici (con indicazioni su come procedere per valutare la capacità termica negli edifici esistenti).

Si devono calcolare:

- fattore di utilizzazione degli apporti termici per il calcolo del fabbisogno di riscaldamento ;
 - fattore di utilizzazione dello scambio termico per il calcolo del fabbisogno di raffrescamento ;
 - capacità termica interna;
 - intermittenza e attenuazione, assunta inesistente per le valutazioni di progetto e standard (regime continuo).
- Parametri impiantistici (temperature di set-point, ricambi d'aria, durata dei periodi di raffrescamento e riscaldamento; regime di funzionamento dell'impianto di climatizzazione assunto continuo per le valutazioni di progetto e standard).

Come per il metodo di calcolo CEN, anche quello esplicitato nella UNI/TS 11300 prevede come primo step le individuazioni delle zone termiche per il calcolo, evidenziando però anche i casi in cui tale passaggio non è necessario (ad esempio quando le temperature interne di regolazione per il riscaldamento differiscono di non oltre 4 K).

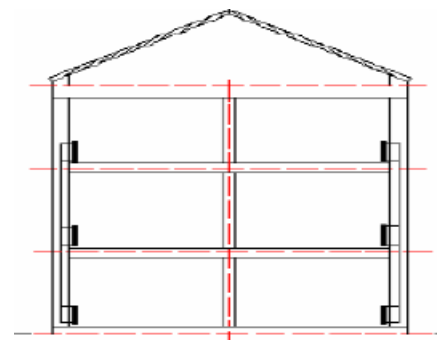
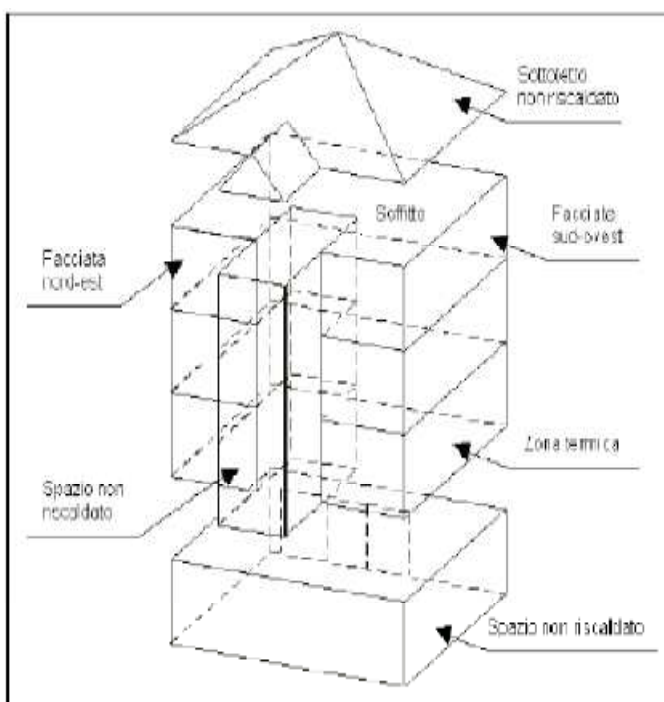


Fig. 2.2.1 : Analisi confini tra zone termiche.

Lo sviluppo di appositi programmi di calcolo, hanno facilitato la valutazione del fabbisogno energetico: essi simulano nel dettaglio gli scambi termici, la ventilazione e l'impianto di climatizzazione.

Tali programmi di simulazione si basano, come già detto precedentemente, sulla raccolta di numerose informazioni di dettaglio sull'edificio e sul contesto in cui esso è inserito: questo articolato data base permette un calcolo specifico e preciso.

Ovviamente però la raccolta di informazioni così dettagliate e la specificità del programma di calcolo richiedono una tempistica maggiore per lo sviluppo, quindi inadatto alle prime fasi progettuali.

Tali software sono in grado di indirizzare le scelte progettuali, come per esempio orientamento, forma, pacchetti murari, impianti ecc., simulando le differenti situazioni opzionate e permettendo una scelta adeguata rispetto ai fini energetici e ambientali.

Uno tra questi programmi di calcolo è l' Energy Plus, programma americano scelto per la simulazione progettuale di questo lavoro di tesi.

2.3 I DATI CLIMATICI

La fonte che fornisce i dati climatici convenzionali, necessari per la progettazione e la verifica sia degli edifici sia degli impianti tecnici per il riscaldamento e il raffrescamento, è la normativa vigente UNI 10349. I dati presentati si raggruppano in due categorie:

- dati climatici giornalieri medi mensili, che riguardano il calcolo dei fabbisogni energetici e le verifiche igrometriche;
- dati di progetto, che riguardano la verifica del superamento di valori massimi o minimi di specifiche grandezze ed il dimensionamento, in termini di potenza termica, dei sistemi di riscaldamento e raffrescamento.

In questo lavoro di tesi i dati climatici forniti verranno utilizzati per il calcolo del fabbisogno di energia (UNI 10344) e per il calcolo della temperatura interna estiva degli ambienti (UNI 10375), ma possono anche essere utilizzati per la verifica igrometrica ai fenomeni di condensazione del vapore (UNI 10375).

Le definizioni che tale normativa fornisce sono:

- **Energia radiante** = energia emessa, trasportata o ricevuta in forma di onde elettromagnetiche.
- **Irradianza** = rapporto tra l'energia radiante per unità di tempo che incide su una superficie e l'area della medesima superficie.
- **Irradiazione** = rapporto tra l'energia radiante che incide su una superficie e l'area della medesima superficie.
- **Regione di vento** = aree omogenee del territorio italiano rispetto alla variazione della velocità del vento in funzione dell'altitudine e della distanza del sito in esame dalla costa.

- **Zona di vento** = sito caratterizzato da una specifica riduzione od accrescimento del valore della velocità del vento rispetto ad un valore di riferimento.

Le definizioni sono accompagnate da una tabella che elenca le fondamentali grandezze, simboli e unità di misura. (Vedi Tab 2.3.1)

Prospetto I — Simboli ed unità di misura

Grandezza	Simbolo	Unità di misura
temperatura giornaliera media mensile nella località considerata	Θ_e	°C
temperatura giornaliera media mensile nella località di riferimento	$\Theta_{e,r}$	°C
temperatura estiva massima nella località considerata	Θ_{max}	°C
temperatura estiva massima nella località di riferimento	$\Theta_{max,r}$	°C
escursione termica giornaliera dell'aria esterna in condizioni estive di progetto	$\Delta\Theta_{max}$	°C
fattore di distribuzione della temperatura massima giornaliera	F	—
altitudine s.l.m. della località considerata	z	m
altitudine s.l.m. della località di riferimento	z _r	m
gradiente verticale di temperatura	δ	°C/m
irradiazione solare giornaliera media mensile su piano orizzontale	\bar{H}	MJ/m ²
irradiazione solare giornaliera media mensile diretta su piano orizzontale	\bar{H}_{bh}	MJ/m ²
irradiazione solare giornaliera media mensile diffusa su piano orizzontale	\bar{H}_{dh}	MJ/m ²
irradianza solare massima relativa ad una superficie di orientamento T	I_T	W/m ²
latitudine della località considerata	φ	°
latitudine della località di riferimento	φ_r	°
velocità del vento	ω	m/s
velocità del vento nella località di riferimento	ω_r	m/s
coefficiente correttivo caratteristico della zona di vento	c	—

Tab. 2.3.1 : Simboli e unità di misura secondo la UNI 10346

VALORI MEDI MENSILI DELLA TEMPERATURA DELL'ARIA ESTERNA

La normativa riporta i valori medi mensili della temperatura media giornaliera dell'aria esterna per ogni capoluogo di provincia italiano, riferiti alla loro quota, per ogni mese dell'anno.

Per le località non comprese, viene esplicitato come è comunque possibile calcolare tale temperatura, applicando il seguente criterio:

- si identifica la località di riferimento, ovvero il capoluogo di provincia più vicino in linea d'aria e sullo stesso versante geografico di quella considerata;
- si apporta una correlazione al valore della temperatura della località di riferimento per tener conto della differenza di altitudine tra questa e la località considerata.

VALORI DELLA IRRADIAZIONE SOLARE GIORNALIERA MEDIA MENSILE

I valori della irradiazione solare media mensile sul piano orizzontale per i capoluoghi di provincia sono riportati nelle componenti H_{bh} diretta e H_{dh} diffusa e per ogni mese dell'anno.

Anche per questo parametro la normativa spiega come calcolarne il valore per le località non comprese, seguendo tale criterio:

- si identificano le due località di riferimento, ovvero i capoluoghi di provincia più vicini in linea d'aria e sullo stesso versante geografico di quella considerata;
- si calcola il valore della irradiazione della località considerata come media ponderale dei valori delle due località di riferimento pesante rispetto alla latitudine.

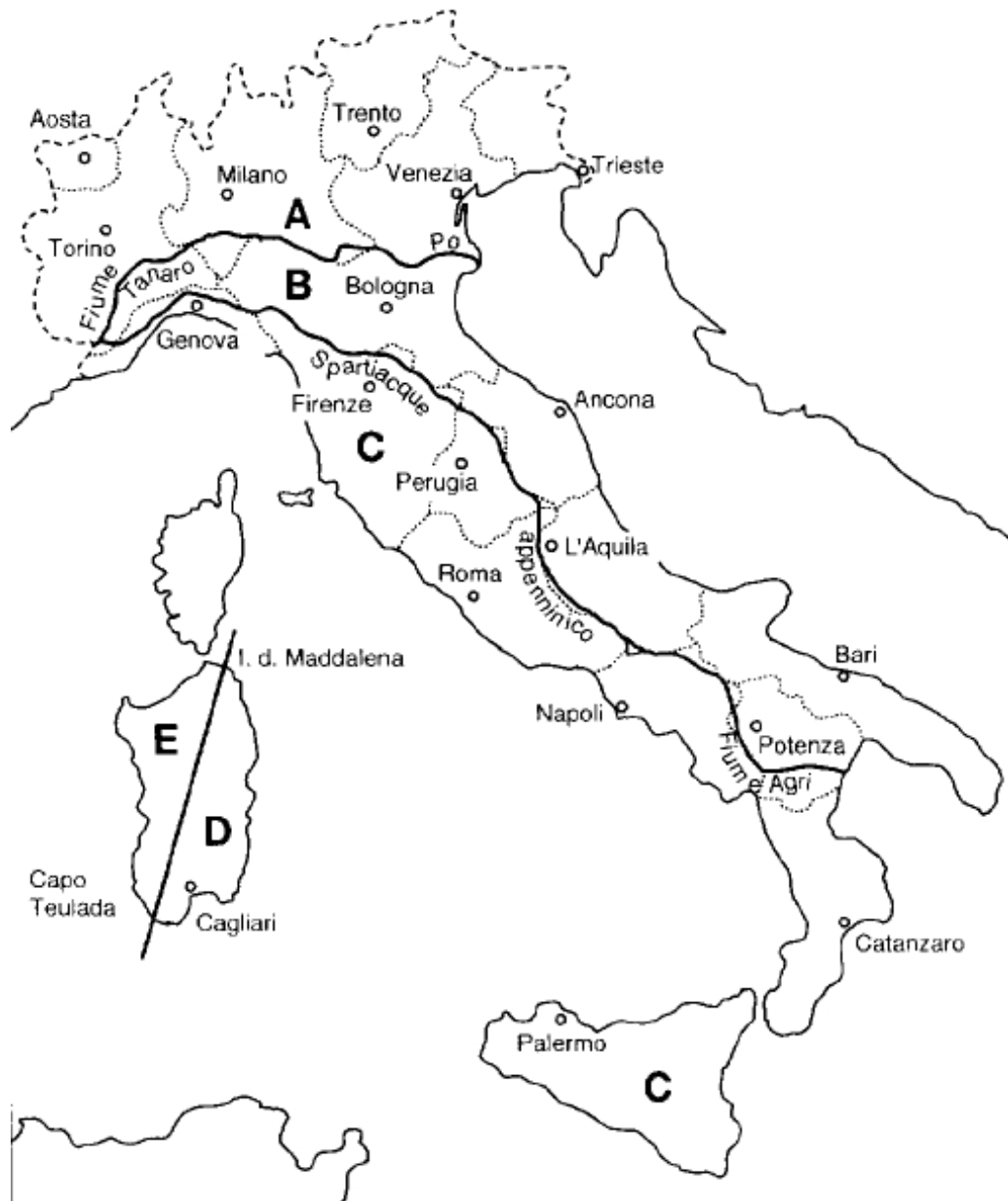
VALORE MEDIO ANNUALE DELLA VELOCITÀ DEL VENTO MEDIA

All'interno di uno dei prospetti allegati, la normativa presenta i valori medi annuali delle velocità del vento medie giornaliere e la direzione prevalente per i capoluoghi di provincia italiani. I dati riportati sono relativi ai singoli capoluoghi ed alla loro quota di riferimento e zona di vento. (Vedi Tab 2.3.2 e Fig. 2.3.1)

Prospetto III — Zone di vento

Regione di vento	Fascia Costiera ≤ 20 km	Fascia Subcostiera ≤ 40 km	Entroterra > 20 km* Altitudine (m)						
			300	500	800	1 200	1 500	2 000	$> 2 000$
A	3	2	1	1	2	2	3	3	4
B	2		1	2	2	3	3	4	4
C	3		2	2	3	3	3	4	4
D	3		3	3	3	4	4	4	4
E	4		3	3	3	4	4	4	4

* Ad eccezione della regione A per cui l'entroterra è > 40 km.



Tab. 2.3.2 e Fig. 2.3.1 : Zone di vento secondo la UNI 10346

TEMPERATURA ESTIVA MASSIMA

La normativa UNI 10349 descrive la distribuzione giornaliera della temperatura dell'aria esterna come:

$$\theta_t = \theta_{\max} - F(t) \Delta\theta_{\max}$$

Dove:

- θ_{\max} = temperatura massima giornaliera dell'aria esterna
- $F(t)$ = fattore di distribuzione della temperatura
(Vedi Tab 2.3.3)
- $\Delta\theta_{\max}$ = escursione giornaliera dell'aria esterna

Anche questi valori vengono riportati dalla normativa per i singoli capoluoghi di provincia e per le località non comprese è possibile calcolare una temperatura massima estiva corretta, che tenga conto della differente localizzazione ed altitudine, rispetto al capoluogo, seguendo il criterio utilizzato per il calcolo degli altri parametri: apportare una correlazione al valore della temperatura della località di riferimento individuata, tenendo così conto della differenza di altitudine tra le due località.

Prospetto V — Fattore F(t)

ora	F(t)	ora	F(t)	ora	F(t)
1	0,87	9	0,71	17	0,10
2	0,92	10	0,56	18	0,21
3	0,96	11	0,39	19	0,34
4	0,99	12	0,23	20	0,47
5	1,00	13	0,11	21	0,58
6	0,98	14	0,03	22	0,68
7	0,93	15	0,00	23	0,76
8	0,84	16	0,03	24	0,82

Tab. 2.3.3 : Fattore di distribuzione della temperatura secondo la UNI 10346

IRRADIANZA SOLARE ESTIVA MASSIMA

La normativa riporta i valori dell'irradianza solare massima estiva incidente su superfici verticali diversamente orientate e sul piano orizzontale in funzione delle ore del giorno e della latitudine. In funzione degli stessi parametri vengono anche riportati i valori dell'irradianza solare massima estiva trasmessa attraverso vetro semplice diversamente orientato. La UNI10349 fornisce inoltre i valori dell'altezza solare ed azimutale e l'angolo di incidenza, anch'essi in funzione delle ore del giorno e della latitudine.

Utilizzando però come strumento di calcolo per il fabbisogno energetico programmi di simulazione, la fonte dei dati climatici necessari può essere il database fornito direttamente dal programma, il Weather File di EnergyPlus (Vedi Par.4.3). Confrontando però i dati forniti dalle due fonti, cioè normativa UNI 10349 e database del programma EnergyPlus utilizzato per la simulazione in questo lavoro di tesi, prendendo in considerazione i parametri climatici necessari al programma per il calcolo e le località selezionate per questo lavoro di simulazione, si possono notare delle differenze.

Riassumendo i dati forniti dalla normativa UNI 10346 (Tab2.3.4):

		MILANO	ROMA	PALERMO
Maximum Dry-Bulb Temperature	°C	31.9	33.8	32.6
Daily Temperature Range	Δ°C	12	11	6.5
Humidity Indicating Conditions at Maximum Dry-Bulb (WB)	°C	-	-	-
UR	%	-	-	-
Barometric Pressure	Pa	-	-	-
Wind Speed	m/s	1.1	2.6	3.6
Wind Direction	deg	SW	SW	SW
Sky Clearness	decimi	1	1	1
Rain Indicator	mm	0	0	0
Snow Indicator	cm	0	0	0
Day of Month		15	15	15
Month		Luglio	Luglio	Luglio
Day type		summer day	summer day	summer day
Latitude	deg	45.27	41.53	38.07
Longitude	deg	9.11	12.28	13.21
Elevation	mt	122	20	14
Time zone	hr	1	1	1

Riassumendo i dati forniti dal Weather File di EnergyPlus (Tab2.3.5):

		MILANO	ROMA	PALERMO
Maximum Dry-Bulb Temperature	°C	32.2	30.9	33.8
Daily Temperature Range	Δ°C	10.1	9.8	5.8
Humidity Indicating Conditions at Maximum Dry-Bulb (WB)	°C	23.7	26	26
UR	%	55		
Barometric Pressure	Pa	100094	101289	101073
Wind Speed	m/s	2.3	5	6.1
Wind Direction	deg	220	170	210
Sky Clearness	decimi	1	1	1
Rain Indicator	mm	0	0	0
Snow Indicator	cm	0	0	0
Day of Month		15	15	15
Month		Luglio	Luglio	Luglio
Day type		summer day	summer day	summer day
Latitude	deg	45.43	41.8	38.18
Longitude	deg	9.28	12.23	13.1
Elevation	mt	103	3	21
Time zone	hr	1	1	1

Per questo lavoro di tesi è stato scelto di utilizzare i dati climatici forniti dal database del programma di simulazione Energy Plus.

**3 *LEGISLAZIONE ITALIANA SUL
CONTENIMENTO DEI CONSUMI
ENERGETICI DEGLI EDIFICI***

3.1 EVOLUZIONE DAGLI ANNI '70 AD OGGI

La legislazione italiana riguardante il contenimento dei consumi energetici degli edifici presentò le prime leggi durante gli anni '70, periodo segnato dalle crisi petrolifere.

Negli anni '80 e '90 l'inizio delle preoccupazioni ambientali richiesero l'aggiornamento della legislazione, rappresentata in Italia dalla legge 10/91 nella quale gli obiettivi generali posti riguardavano il risparmio energetico e l'impegno nella promozione delle fonti rinnovabili:

- “Al fine di migliorare i processi di trasformazione dell'energia, di ridurre i consumi di energia e di migliorare le condizioni di compatibilità ambientale dell'utilizzo dell'energia a parità di servizio reso e di qualità della vita, le norme... favoriscono e incentivano... l'uso razionale dell'energia, il contenimento dei consumi di energia nella produzione e nell'utilizzo di manufatti, l'utilizzazione delle fonti rinnovabili di energia...”.
[Legge 10/91, art.1 comma 1]
 - Oltre al solare, tra le fonti rinnovabili o assimilate, sono considerate anche il riciclo dei rifiuti, la cogenerazione, il recupero di calore “I risparmi di energia conseguibili nella climatizzazione e nell'illuminazione degli edifici con interventi sull'involucro edilizio e sugli impianti”.
[Legge 10/91, art.1 comma 3]
 - Gli impianti di edifici nuovi devono “consentire l'adozione di sistemi di termoregolazione e di contabilizzazione del calore per ogni singola unità immobiliare”.
[Legge 10/91, art.26 comma 6]
- Gli enti pubblici, in edifici di proprietà o meno, hanno l'obbligo di ricorrere all'uso di fonti rinnovabili e al risparmio energetico “salvo impedimenti di natura tecnica od economica”.

[Legge 10/91, art.26 comma 7]

- I limiti ai consumi elettrici e termici sono regolati dal DPR 412/93, “in relazione alla destinazione d’uso degli edifici stessi, agli impianti di cui sono dotati e alla zona climatica di appartenenza”.

[Legge 10/91, art.27]

- Obbligo di deposito in comune di una relazione tecnica che attesti il rispetto alle prescrizioni di legge, pena la sospensione dei lavori e l’applicazione di sanzioni.

[Legge 10/91, art.28 e 34]

- Previsione dell’emanazione di norme tecniche per la certificazione energetica degli edifici; quest’ultima deve essere portata a conoscenza dell’acquirente o del locatario nei casi di compravendita o di locazione. Tale certificazione però non è mai stata emanata fino al 2002, con la DE 91/2002.

Negli anni '90 vennero emanati i decreti DPR 412/93 e l’integrazione DPR 551/99, che definirono gli obblighi relativi ai consumi per il riscaldamento degli edifici. In particolar modo:

- Definirono la classificazione degli edifici in base alla destinazione d’uso:

E.1 Edifici adibiti a residenza e assimilabili:

E.1 (1) abitazioni adibite a residenza con carattere continuativo, quali abitazioni civili e rurali, caserme, conventi;

E.1 (2) abitazioni adibite a residenza con occupazione saltuaria, quali case per vacanze, fine settimana e simili;

E.1 (3) edifici adibiti ad albergo, pensione ed attività simili;

E.2 Edifici adibiti a uffici e assimilabili: pubblici o privati, indipendenti o contigui a costruzioni adibite anche ad attività industriali o artigianali, purchè siano da tali costruzioni scorporabili agli effetti dell’isolamento termico;

E.3 Edifici adibiti a ospedali, cliniche o case di cura assimilabili ivi compresi quelli adibiti a ricovero o cura di minori o anziani nonché le strutture protette per l'assistenza ed il recupero dei tossico-dipendenti e di altri soggetti affidati a servizi sociali pubblici;

E.4 Edifici adibiti ad attività ricreative, associative o di culto e assimilabili:

E.4 (1) quali cinema e teatri, sale di riunione per congressi;

E.4 (2) quali mostre, musei e biblioteche, luoghi di culto;

E.4 (3) quali bar, ristoranti, sale da ballo;

E.5 Edifici adibiti ad attività commerciali e assimilabili: quali negozi, magazzini di vendita all'ingrosso o al minuto, supermercati, esposizioni;

E.6 Edifici adibiti ad attività sportive:

E.6 (1) piscine, saune e assimilabili;

E.6 (2) palestre e assimilabili;

E.6 (3) servizi di supporto alle attività sportive;

E.7 Edifici adibiti ad attività scolastiche a tutti i livelli;

E.8 Edifici adibiti ad attività industriali ed artigianali.

Per ognuna di queste categorie vennero definiti anche i limiti di temperatura interna:

- $T_{PI} \leq 18^{\circ}\text{C} (+2^{\circ}\text{C})$ per gli edifici E.8, adibiti ad attività industriali e artigianali;

- $T_{PI} \leq 20^{\circ}\text{C} (+2^{\circ}\text{C})$ per tutte le altre tipologie di edifici.

- Definirono la suddivisione dell'Italia in zone climatiche sulla base del parametro "gradi-giorno", termine con il quale si intende la somma, estesa a tutti i giorni di un periodo annuale convenzionale di riscaldamento, delle sole differenze positive giornaliere tra la temperatura dell'ambiente T_{AI} , convenzionalmente fissata a 20° , e la temperatura media esterna giornaliera T_{AE} ; l'unità di misura è il grado giorno (GG).

$$GG = \sum_{n=1}^{N_{gr}} (T_{AI} - \langle T_{AE} \rangle)$$

Il territorio nazionale venne dunque suddiviso nelle seguenti sei zone climatiche, per qui vennero definiti anche i limiti massimi relativi al periodo annuale di esercizio dell'impianto termico ed alla durata giornaliera di attivazione:

Zona A: comuni che presentano un numero di gradi-giorno non superiore a 600; limite attivazione impianto termico di 6 ore giornaliere, dal 1° dicembre al 15 marzo.

Zona B: comuni che presentano un numero di gradi-giorno maggiore di 600 e non superiore a 900; limite attivazione impianto termico di 8 ore giornaliere, dal 1° dicembre al 31 marzo.

Zona C: comuni che presentano un numero di gradi-giorno maggiore di 900 e non superiore di 1400; limite attivazione impianto termico di 10 ore giornaliere, dal 15 novembre al 31 marzo.

Zona D: comuni che presentano un numero di gradi-giorno maggiore di 1400 e non superiore di 2100; limite attivazione impianto termico di 12 ore giornaliere dal 1° novembre al 15 aprile.

Zona E: comuni che presentano un numero di gradi-giorno maggiore di 2100 e non superiore di 3000; limite attivazione impianto termico di 14 ore giornaliere dal 15 ottobre al 15 aprile.

Zona F: comuni che presentano un numero di gradi-giorno maggiore di 3000; senza limite di attivazione impianto termico.

COMUNE	ALT. SLM	GRADI GIORNO	ZONA CLIMATICA
TORINO	239	2617	E
AOSTA	583	2850	E
MILANO	122	2404	E
TRENTO	194	2567	F
VENEZIA	1	2345	E
TRIESTE	2	2102	E
GENOVA	19	1435	D
BOLOGNA	54	2259	E
FIRENZE	50	1821	D
PERUGIA	493	2289	E
ANCONA	16	1688	D
L'AQUILA	714	2514	E
CAMPOBASSO	701	2346	E
ROMA	20	1415	D
NAPOLI	17	1034	C
POTENZA	819	2472	E
BARI	5	1185	C
CATANZARO	320	1328	C
PALERMO	14	751	B
CAGLIARI	6	990	C

Tab. 3.1.1: Capoluoghi italiani e relativi valori di altezza S.l.m., gradi-giorno e zona climatica a cui appartengono, secondo i decreti DPR 412/93 e l'integrazione DPR 551/99.

- Prevedevano 3 verifiche obbligatorie:
 - Rispetto all'involucro: il limite al COEFFICIENTE DI DISPERSIONE PER TRASMISSIONE dell'involucro edilizio (C_d), espresso in $W/m^3 \cdot ^\circ C$. Tale parametro non dovrà infatti superare i limiti fissati dai regolamenti di cui ai commi 1 e 2 dell'Art. 4 della legge n.10 del 9 gennaio 1991.

$$C_d = \frac{Q_{TR}}{V \Delta T_P} \leq C_{d,lim} \left(\frac{S}{V}; GG \right)$$

- Rispetto all'impianto: il limite al RENDIMENTO GLOBALE STAGIONALE (η_{gs}), definito come rapporto fra il fabbisogno di energia termica utile per la climatizzazione invernale e l'energia primaria delle fonti energetiche, calcolato con riferimento al periodo annuale di esercizio.

Il rendimento globale stagionale è il risultato del prodotto dei differenti rendimenti medi stagionali: rendimento di produzione, di regolazione, di distribuzione e di emissione. Tale parametro dovrà risultare non inferiore al seguente valore:

$$\eta_{gs} \geq \eta_{gs,lim} (65 + \text{Log}_{10} P_N) / 100$$

dove il $\log P_N$ si riferisce al logaritmo della potenza utile nominale del generatore o del complesso dei generatori di calore al servizio del singolo impianto termico, espressa in kW.

- Rispetto sia all'involucro che all'impianto: il limite del FABBISOGNO ENERGETICO CONVENZIONALE NORMALIZZATO (FEN).

Il fabbisogno energetico convenzionale è la quantità di energia primaria globalmente richiesta nel corso di un anno, per mantenere negli ambienti riscaldati la temperatura costante di $20^\circ C$, con l'adeguato ricambio

d'aria, durante il periodo di riscaldamento definito diversamente per le diverse zone climatiche dal presente decreto.

Il fabbisogno energetico normalizzato è il rapporto fra il fabbisogno energetico convenzionale e il prodotto tra il volume riscaldato e i gradi giorno della località:

$$FEN = Q_s/V \cdot GG \leq FEN_{lim}$$

Queste verifiche sono state successivamente modificate o abrogate dai DGL 192 del 2005 e 311 del 2006.

Quando il contenimento dei consumi diventò un interesse comune europeo, venne promulgato il nuovo decreto DE 91/2002, il cui obiettivo generale era quello del miglioramento della prestazione energetica degli edifici, intesa come “quantità di energia effettivamente consumata o che si prevede possa essere necessaria per soddisfare i vari bisogni connessi ad un uso standard dell'edificio, compresi, tra gli altri, il riscaldamento, il riscaldamento dell'acqua, il raffreddamento, la ventilazione e l'illuminazione”. La novità consiste dunque nel prendere in considerazione tutti gli usi di energia nell'edificio. Tale decreto rappresenta, appunto, un lavoro legislativo in corso a livello europeo (CEN), per definire delle necessarie metodologie di valutazione e di calcolo. Vennero fissati dagli stati membri i requisiti minimi di prestazioni e l'istituzione dell'“attestato di prestazione energetica dell'edificio” per edifici nuovi e esistenti con validità massima di 10 anni.

In Italia il recepimento della normativa europea è stato attuato dal DLG 192/2005, e dal suo aggiornamento DLG 311/2006: essi stabiliscono i requisiti minimi di prestazione energetica invernali ed estivi da definirsi entro 180 gg con appositi decreti, e i requisiti transitori, riguardanti soprattutto il fabbisogno primario di riscaldamento, con l'abrogazione di alcuni articoli della legge 10 e DPR 412. Infatti:

- Viene abrogata la richiesta di verifica del Cd, coefficiente di dispersione per trasmissione;
- Viene sostituito il FEN [kwh/m³.GG] dal EP_i, parametro che esprime il consumo di energia primaria totale riferito all'unità di superficie utile, espresso in kwh/m².anno, o di volume lordo, espresso in kwh/m³.anno.

Tipologia di intervento	Requisiti
-Nuova edificazione -Ristrutturazioni con S>1000 m ²	- EP _i ≤ EP _{i,lim} - η _g ≥ η _{g,lim} = (65+3log ₁₀ P _N) % (74% se P _N > 1000 kW) - U ≤ 1.3 U _{lim} - nelle sole zone climatiche C,D,E,F U _{divisori} ≤ 0.8 W/(m ² K)
-Ristrutturazione con S<1000 m ²	- U ≤ U _{lim}
- Installazione o ristrutturazione impianti in edifici esistenti	- η _g ≥ η _{g,lim} = (75+3log ₁₀ P _N) % (84% se P _N > 1000 kW)
- Sostituzione solo generatore termico	- η _{tu} ≥ η _{tu,lim} = (90+2 log ₁₀ P _N) % + altri requisiti relativi al sistema di controllo

Tab. 3.1.2 : Requisiti per tipologie di intervento definiti dal DLG 192/2005 e DLG 311/2006.

La tabella sopra riportata riassume i requisiti definiti dal DLG 192/2005 e DLG 311/2006 in relazione alle differenti tipologie di intervento.

Il DLG 311/2006 stabilì l'obbligo di dotazione, entro 1 anno dall'entrata in vigore del decreto, dell'attestato di certificazione energetica per: edifici nuovi, edifici esistenti sottoposti a ristrutturazione integrale con S > 1000 m² ed edifici esistenti demoliti e ricostruiti in manutenzione straordinaria con S > 1000 m². Mentre per gli altri casi di edifici esistenti, l'obbligo di dotazione si applica nel caso di trasferimento a titolo oneroso a partire dal:

- 1 Luglio 2007 agli edifici con $S > 1000 \text{ m}^2$
- 1 Luglio 2008 agli edifici con $S < 1000 \text{ m}^2$
- 1 Luglio 2009 alle singole unità immobiliari

Nell'attesa dell'emanazione di linee guida nazionali sulla certificazione, alcuni enti locali hanno sviluppato proprie procedure di certificazione; viene però evidenziato dalla normativa, che i vincoli posti a livello locale possono solo essere più restrittivi di quelli nazionali.

I requisiti definiti dal DLG 311/2006, sono stati successivamente ripresi, in parte modificati, dal DLG n°VIII/8745 della Regione Lombardia del 21 Dicembre 2008, e dal Decreto del Presidente della Repubblica n° 59 del 2 Aprile 2009.

3.2 CONFRONTO DEI DECRETI LEGISLATIVI PIÙ RECENTI

Ripresa l'evoluzione storica della legislazione riguardante il contenimento del consumo energetico, risulta interessante confrontare le richieste del DLG 311/2006, quindi della normativa nazionale, quelle del DLG n° VIII/8745, cioè il decreto della Regione Lombardia, e infine le richieste del recente DPR 59/2009.

Come è stato anticipato nell'introduzione, una scelta importante durante il lavoro è stata quella di prendere in considerazione 3 località differenti italiane per poter studiare i differenti comportamenti

progettuali e prestazionali dell'edificio di studio. Milano, Roma e Palermo appartengono infatti a 3 diverse zone climatiche, e anche dal punto di vista legislativo, devono rispettare le relative richieste, esplicitate per ogni zona climatica.

CITTÀ	ZONA CLIMATICA
MILANO	E
ROMA	D
PALERMO	B

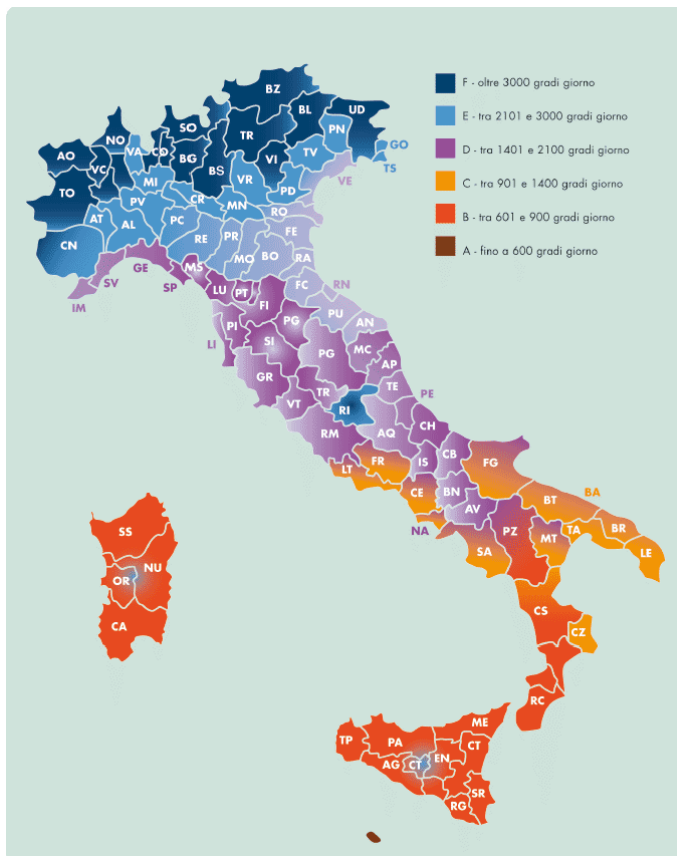


Fig. 3.2.1 : Suddivisione in zone climatiche della penisola italiana.

Il DLG 311/2006, normativa nazionale, distingue due differenti categorie di edifici e ne definisce i valori massimi di trasmittanza termica ammessi per i diversi componenti strutturali: strutture opache verticali, coperture, pavimenti confinanti con l'esterno, chiusure trasparenti, vetri e solette tra locali riscaldati. (Vedi Tab. 3.2.1)

DECRETO LEGISLATIVO NAZIONALE 29-dic-06 n° 311		
Requisiti in vigore dal Gennaio 2010	TRASMITTANZA U lim (W/mqK)	
	Tutti gli altri casi di: Ristrutturazioni totali o parziali dell'involucro, Ampliamenti volumetrici	Nuova costruzione, Ristrutturazioni integrali e demolizione/ricostruzione x ed con S>1000mq, Ampliam volumV>20%
STRUTTURE OPACHE VERTICALI		
MILANO	0.34	0.44
ROMA	0.36	0.47
PALERMO	0.48	0.62
COPERTURE		
MILANO	0.3	0.39
ROMA	0.32	0.42
PALERMO	0.38	0.49
PAVIMENTI (verso l'esterno)		
MILANO	0.33	0.43
ROMA	0.36	0.47
PALERMO	0.49	0.64
CHIUSURE TRASPARENTI		
MILANO	2.2	2.2
ROMA	2.4	2.4
PALERMO	3	3
VETRI		
MILANO	1.7	1.7
ROMA	1.9	1.9
PALERMO	2.7	2.7
SOLETTE TRA LOCALI RISCALDATI		
MILANO	0.8	0.8
ROMA	0.8	0.8
PALERMO	0.8	0.8

Tab. 3.2.1: Tabella riassuntiva dei valori limite di trasmittanza termica definiti dal DLG 311/2006 (requisiti in vigore dal gennaio 2010).

La prima categoria di edifici raggruppa le strutture di nuova costruzione, le ristrutturazioni integrali, le demolizioni e ricostruzioni di edifici con superficie superiore a 1000mq e ampliamenti volumetrici con volume superiore del 20%. Per tale categoria la normativa nazionale del 2006 consente valori limite di trasmittanza con maggiorazione del 30%, per le strutture opache verticali, le coperture e i pavimenti confinanti con l'esterno, rispetto ai valori richiesti per tutti gli altri casi di ristrutturazioni totali o parziali dell'involucro e ampliamenti volumetrici. Rimangono invece invariate tra le due categorie di edifici le richieste di trasmittanza per le chiusure trasparenti, i vetri e le solette tra locali riscaldati.

Oltre alla trasmittanza, per le località nelle quali il valore medio mensile dell'irradianza sul piano orizzontale ($I_{m,s}$), nel mese di massima insolazione estiva, sia maggiore o uguale a 290 W/mqK, viene richiesta la verifica di un secondo parametro: la massa specifica delle superfici orizzontali, verticali e oblique deve essere uguale o superiore di 230 Kg/mq (Vedi Fig. 3.2.3).

Pur essendo una normativa della Regione Lombardia, si è verificato che per nessuna provincia lombarda viene superato il valore medio mensile dell'irradianza sul piano orizzontale di 290 W/mqK, quindi il valore minimo di massa specifica richiesto dal decreto non viene preso in considerazione in questo lavoro di tesi per il caso studio milanese.

Requisiti in vigore dal Gennaio 2010	MASSA SPECIFICA lim (Kg/mq)	
se $I_{m,s} > 290 \text{ W/mqK}$		
SUPERFICI ORIZZ/VERTIC/OBLIQUE		
MILANO	-	
ROMA	230	
PALERMO	230	

Tab. 3.2.2: Tabella riassuntiva dei valori minimi di Massa Specifica definiti dal DLG 311/2006.

Nel dicembre del 2008, entrò in vigore il DLG n°VIII/8745, che essendo un Decreto Regionale (Regione Lombardia), può riprendere i valori definiti dal Decreto Nazionale o modificarli per la regione interessata ma solo in senso restrittivo.

DECRETO LEGISLATIVO REGIONE LOMBARDIA 22-dic-08 n° VIII/8745			
	TRASMITTANZA U lim (W/mqK)		
	Valori limite richiesti dalla normativa	Valori limite con maggiorazione del 30%	
	Ristrutt S <25% Ampliam volumV <20%	stessi casi, ma solo per pareti opache	
STRUTTURE OPACHE VERTICALI			
zona climatica F	0.33	0.43	
zona climatica E (Milano)	0.34	0.44	
zona climatica D	0.36	0.47	
COPERTURE			
zona climatica F	0.29	0.38	
zona climatica E (Milano)	0.3	0.39	
zona climatica D	0.32	0.42	
PAVIMENTI (verso l'esterno)			
zona climatica F	0.32	0.42	
zona climatica E (Milano)	0.33	0.43	
zona climatica D	0.36	0.47	
CHIUSURE TRASPARENTI			
zona climatica F	2	2	
zona climatica E (Milano)	2.2	2.2	
zona climatica D	2.4	2.4	
VETRI			
zona climatica F	-	-	
zona climatica E (Milano)	-	-	
zona climatica D	-	-	
SOLETTE TRA LOCALI RISCALDATI			
zona climatica F	0.8	0.8	
zona climatica E (Milano)	0.8	0.8	
zona climatica D	0.8	0.8	

Tab. 3.2.3 : Tabella riassuntiva dei valori limite di trasmittanza termica definiti dal DLG n°VIII/8745.

Il DLG n°VIII/8745, definisce le richieste di trasmittanza solo per le zone climatiche F, E (Milano) e D (Roma), e ripropone gli stessi valori limite del Decreto Nazionale, ma li richiede, senza la tolleranza del 30% in più, anche agli edifici ristrutturati con superficie di intervento minore del 25%, e agli edifici con ampliamenti volumetrici con volume di intervento minore del 20%. La normativa consente la maggiorazione della trasmittanza del 30% negli stessi casi di edifici ma solo per le pareti opache (Vedi Tab. 3.2.3). Risulta essere quindi più restrittiva nella definizione dei valori limite di trasmittanza nel caso di edifici con interventi più contenuti.

In una seconda parte il Decreto Regionale riprende le richieste di valori minimi di massa specifica nel caso di località con valore medio mensile dell'irradianza sul piano orizzontale maggiore o uguale a 290 W/mqK; ma mentre DLG 311/2006 fissava il limite minimo di 230 kg/mq per tutte le superfici orizzontali, verticali e inclinate, il DLG n°VIII/8745 richiede tale limite solo per le superfici opache verticali.

Ciò che risulta una nuova richiesta rispetto al Decreto Nazionale, rivolta anch'essa alle località con valore medio mensile dell'irradianza sul piano orizzontale maggiore o uguale a 290 W/mqK, è la verifica dei valori massimi accettati della trasmittanza termica periodica Y_{IE} .

	MASSA SPECIFICA min (Kg/mq)	TRASMITTANZA TERMICA PERIODICA (W/mqK) Y_{IE} max
STRUTTURE OPACHE VERTICALI	con l'eccezione di quelle comprese nel quadrante nord-ovest / nord / nord- est	
se $I_{m,s} > 290$ W/mqK	230	0.12
STRUTTURE OPACHE ORIZZONTALI E INCLINATE		
se $I_{m,s} > 290$ W/mqK	–	0.2

Tab. 3.2.4: Tabella riassuntiva dei valori minimi di Massa Specifica e dei valori massimi di Trasmittanza Termica Periodica definiti dal DLG n°VIII/8745.

Tale parametro non deve superare 0,12 W/mqK nelle strutture opache verticali e 0,2 W/mqK nelle strutture opache orizzontali e inclinate (Vedi Tab. 3.2.4).

La legislazione più recente, consiste nel Decreto del Presidente della Repubblica n° 59 del 2 Aprile 2009.

DECRETO DEL PRESIDENTE DELLA REPUBBLICA 02-apr-09 n° 59		
		TRASMITTANZA U (W/mqK)
	Valori limite richiesti dalla normativa	
	Tutti i casi, viene fatto riferimento all'allegato C punto 2 del decreto legislativo	
STRUTTURE OPACHE VERTICALI		
MILANO	0.34	
ROMA	0.36	
PALERMO	0.48	
COPERTURE		
MILANO	0.3	
ROMA	0.32	
PALERMO	0.38	
PAVIMENTI (verso l'esterno)		
MILANO	0.33	
ROMA	0.36	
PALERMO	0.49	
CHIUSURE TRASPARENTI		
MILANO	2.2	
ROMA	2.4	
PALERMO	3	
VETRI		
MILANO	1.7	
ROMA	1.9	
PALERMO	2.7	
SOLETTE TRA LOCALI RISCALDATI		
MILANO	0.8	
ROMA	0.8	
PALERMO	0.8	

Tab. 3.2.5: Tabella riassuntiva dei valori limite di Trasmittanza definiti dal Decreto del Presidente della Repubblica n°59 del 2 Aprile 2009.

Esso riprende la richiesta della verifica dei valori minimi di massa specifica e dei valori massimi di trasmittanza termica periodica già definiti dal DLG n°VIII/8745, espandendoli però all'intero territorio nazionale (*Vedi Tab. 3.2.5*). La differenza che apporta il recente Decreto n°59 riguarda la definizione dei valori limite di trasmittanza termica: per tutti i casi di edifici, esso fa riferimento all'allegato C punto 2 del DLG 311/2006, ma non ammette più la tolleranza nella maggiorazione del 30% dei limiti di trasmittanza. Risulta quindi essere una normativa più restrittiva nella definizione dei valori massimi accettabili di trasmittanza termica.

4 METODOLOGIA DI LAVORO

4.1 STRUMENTO DI LAVORO: ENERGY PLUS

EnergyPlus è un programma di calcolo per l'analisi energetica e l'analisi dei



carichi termici, programma americano del Dipartimento di Energia, uno dei più precisi e potenti al mondo oggi. Esso è capace di simulare modelli di riscaldamento, raffrescamento, illuminazione, ventilazione e di flussi di energia e acqua all'interno degli edifici, e consente l'analisi del rendimento energetico di tecnologie a basso consumo negli edifici commerciali e residenziali. Rispetto ai programmi già in uso precedentemente, come BLAST e DOE-2, sviluppati tra gli anni '70 ed '80, i primi programmi di simulazione di energia e carichi basati su modelli di calcolo più semplici, EnergyPlus include nella simulazione molte funzionalità innovative, come per esempio lo sviluppo dei calcoli per fasi con periodi minori di un'ora, il flusso d'aria multizona, il calcolo del confort termico, l'utilizzo di acqua, la ventilazione naturale e l'utilizzo di impianti fotovoltaici. EnergyPlus è l'unico programma che non necessita di un'interfaccia grafica, ma

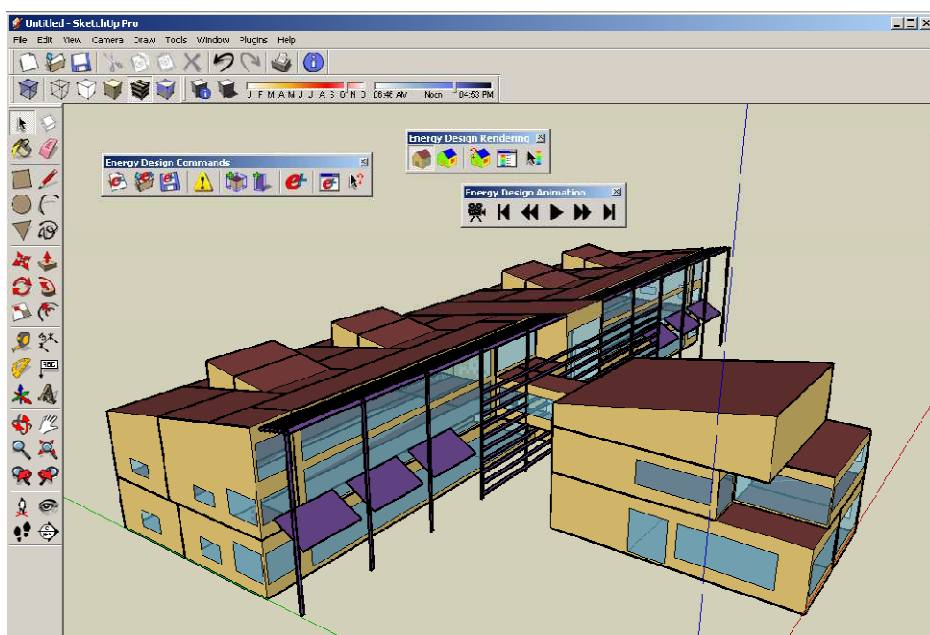


Fig. 4.1.1: Esempio di modello sviluppato con SketchUp 3-D e importabile in EnergyPlus per la simulazione di calcolo.

che comunque ne supporta la lettura, come per esempio i modelli di ArchiCAD, Green Building Studio, Open Studio, SketchUp 3-D ecc.

Esso si sviluppa attraverso la raccolta di dati "input" e che, simulando il modello descritto attraverso i dati, fornisce i risultati "output" attraverso un file di testo, in base ai parametri richiesti alla simulazione.

Gli "input" descrivono sotto il punto di vista fisico, meccanico e di contesto l'edificio oggetto della simulazione. EnergyPlus calcola i carichi di raffrescamento e di riscaldamento necessari per il mantenimento delle condizioni termiche di confort.

Uno dei limiti dei precedenti programmi di calcolo utilizzati era il così detto "spaghetti code", cioè una situazione di confusione dovuta al metodo di inserimento dei dati all'interno del programma. Risulta dunque un cambiamento positivo introdotto da EnergyPlus l'eliminazione delle interconnessioni tra le varie sezioni del programma e rendere fondamentale la comprensione dei dati inseriti.

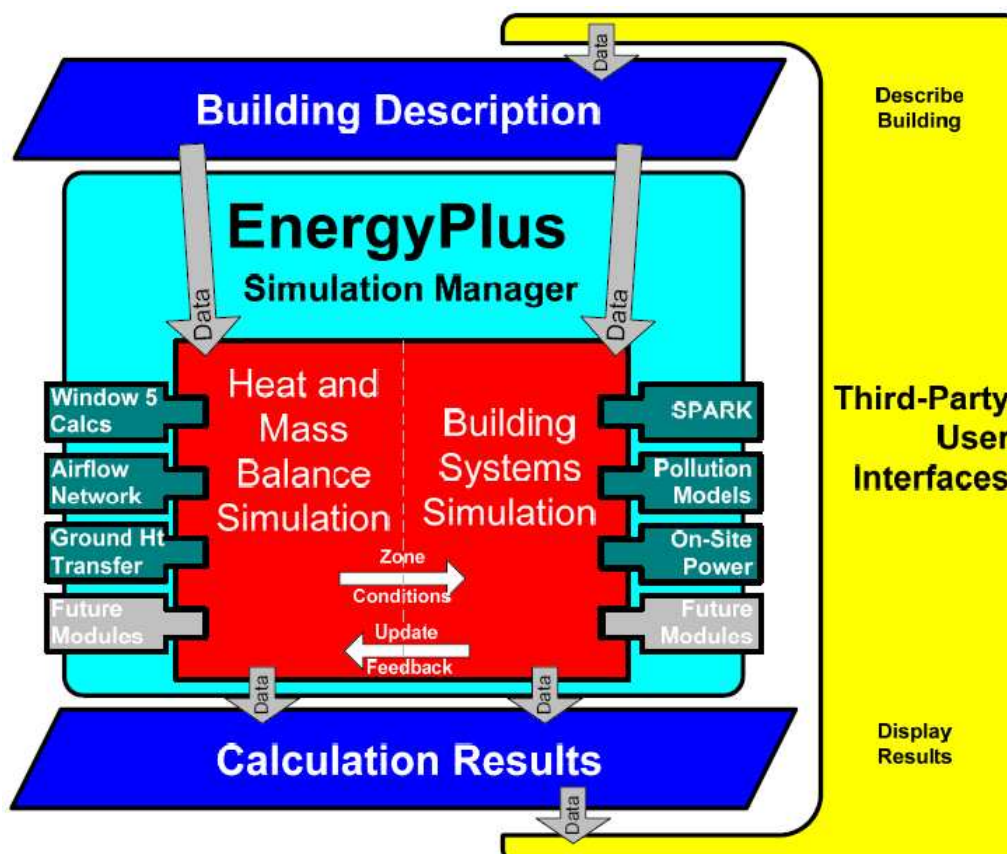
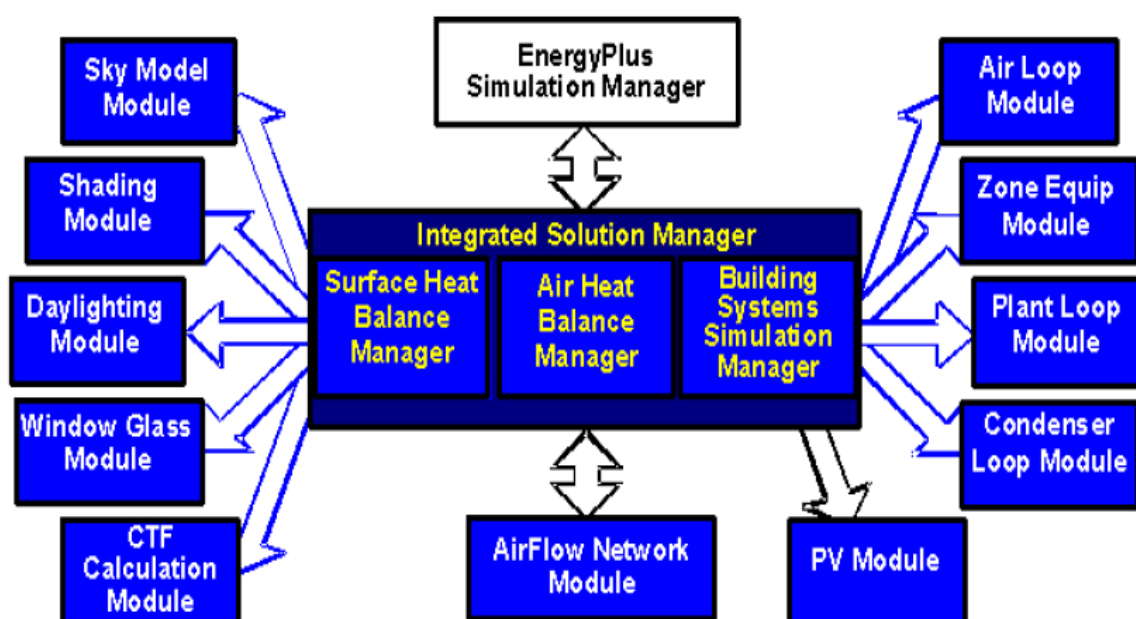


Fig. 4.1.2: Lay-out che esprime le possibili connessioni tra EnergyPlus e altri programmi e il possibile impatto sul programma del lavoro futuro.

La modularità di EnergyPlus inoltre rende più semplice stabilire una connessione agli altri software e la comprensione del modello.

Uno degli aspetti molto forti di EnergyPlus è l'integrazione di tutti gli aspetti della simulazione: carichi, sistemi e piante. Il diagramma qui riportato mostra una schematizzazione dell'integrazione degli elementi importanti per la simulazione energetica dell'edificio di studio.



Un altro aspetto innovativo di EnergyPlus è l'"open source code", cioè l'apertura delle risorse di dati verso una pubblica consultazione e revisione. Il database dunque non è inteso come una scatola chiusa, ma come il risultato di una raccolta di dati che interagisce con gli utenti, accogliendo i dati dei differenti contesti geografici di progetto.

Si può dunque definire che tale programma è un software che presenta una relazione sia verso i differenti utenti, sia verso gli altri programmi di calcolo o modellazione.

EnergyPlus, programma di simulazione per modellare edifici considerando tutti i suoi aspetti, carichi termici, ventilazione e condizioni dell'aria, utilizza come programma di avvio per la modellazione l'EP-Launch.

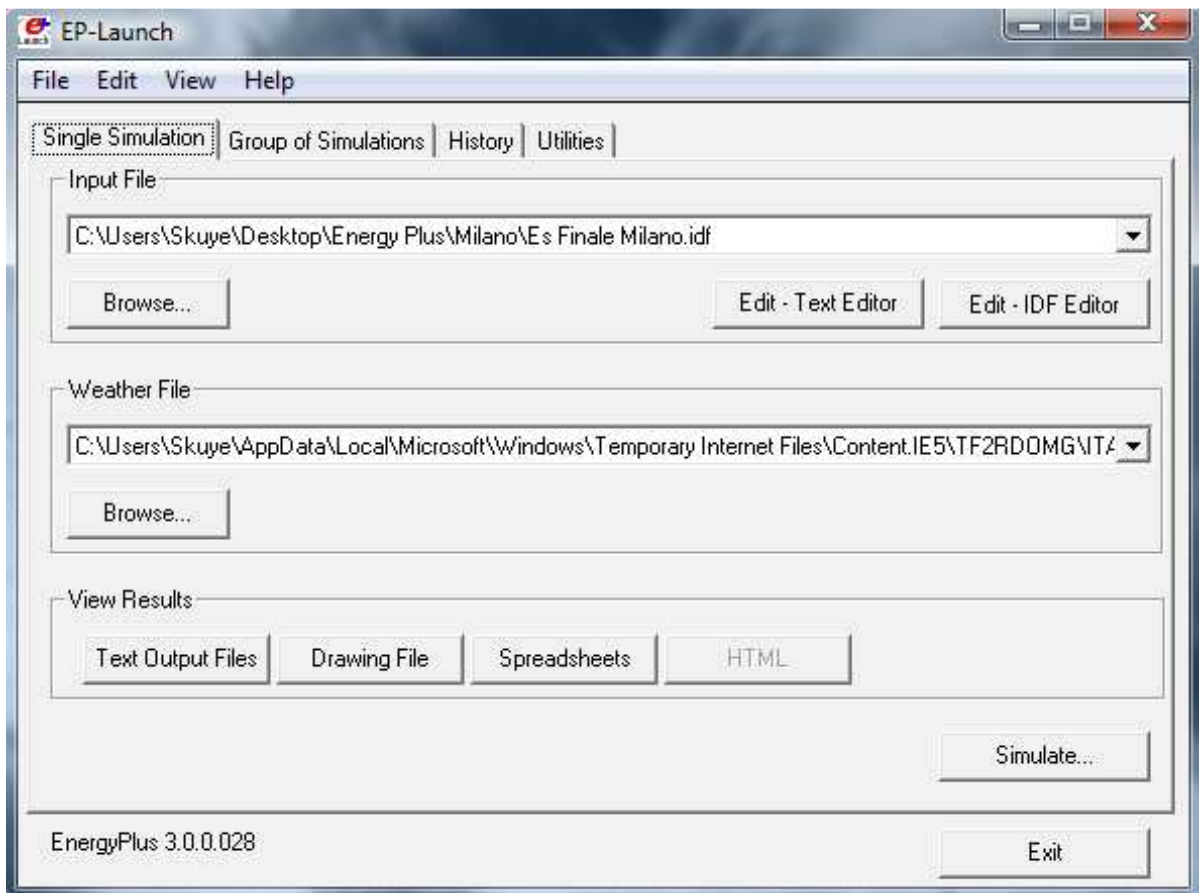


Fig. 4.1.3 : EP-Launch, avvio della modellazione.

Da questa schermata è possibile accedere ai due differenti stili di editor, cioè il Text Editor e l'IDF Editor, sezione in cui vengono inseriti tutti i dati del modello, input e richiesta di output, alla scelta del Weather File, per inserire il database dei dati climatici riferito alla sito di progetto, al Text Output Files per visualizzare i risultati e al Drawing File per la visualizzazione di file grafici allegati, mentre con Simulate si effettua l'analisi di simulazione.

L'inserimento dei dati avviene attraverso gli editor, dividendo le informazioni all'interno di moduli. Questi sono i principali:

- **Simulation Parameters**, in cui viene specificata la versione del programma in utilizzo, la tipologia di simulazione che si vuole effettuare, il nome del progetto e il suo posizionamento geografico e contestuale nel sito, la frequenza di calcolo e il numero di timesteps all'ora, quindi ogni quanti minuti registrare i risultati di calcolo.
- **Location and Climate**, che descrive la località di inserimento del progetto attraverso latitudine, longitudine, elevazione e fusorario, temperature medie mensili del terreno e delle superfici; mentre in base alla scelta effettuata, si possono selezionare le fonti per i dati climatici, quindi o il database del programma, Weather File, o inserendo i dati singolarmente all'interno del Design Day, specificando in ogni caso il periodo in cui si vuol far effettuare la simulazione.
- **Schedules**, sono tabelle con cui vengono organizzati determinati intervalli riferiti a differenti parametri, richiamati nei moduli successivi.
- **Surface Construction Elements**, modulo in cui vengono specificati tutti i materiali utilizzati per l'edificio e le relative specifiche tecniche, come rugosità, spessore, conducibilità, densità e peso specifico; vengono successivamente descritte le stratigrafie delle pareti, coperture, solette e finestre, sulla base dei singoli materiali precedentemente inseriti.
- **Thermal Zones and Surfaces**, che descrive il sistema di coordinate di riferimento e il punto di partenza secondo cui viene descritta la posizione di ogni parete o finestra, oppure viene indicato il file di modellazione esterno che EnergyPlus tradurrà per conoscere la geografia dell'edificio. Vengono inoltre specificate le zone in cui l'edificio è stato suddiviso, in

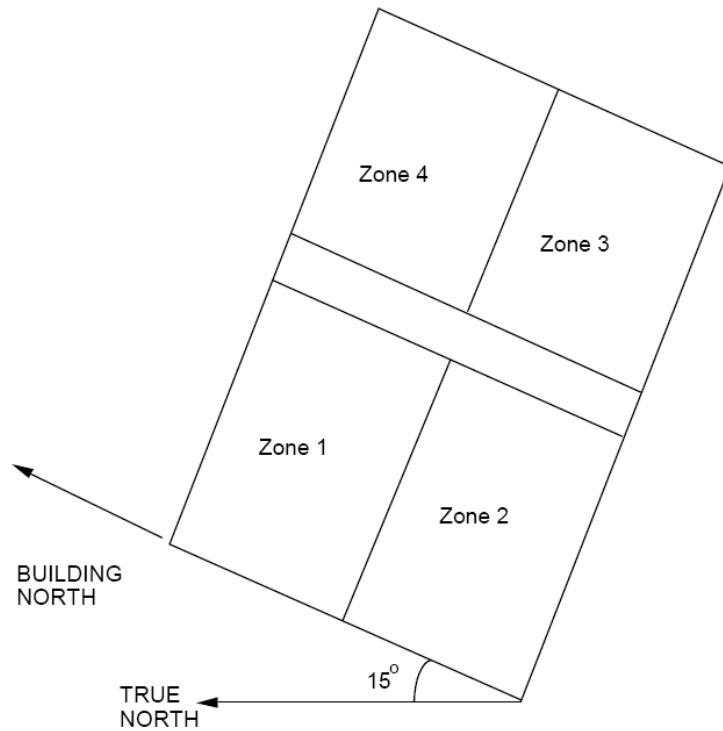


Fig. 4.1.4 : Suddivisione delle zone climatiche e posizionamento rispetto al nord.

base alle differenti condizioni di stato o di progetto che si vogliono ottenere nelle differenti aree. È possibile inserire all'interno di questo modulo anche gli oggetti che ombreggiano, come per esempio balconi, rientranze, brie soleil, inserendo le relative composizioni e coordinate, tale per cui il programma potrà tenere conto degli effetti dell'ombra creata incidenti sui risultati.

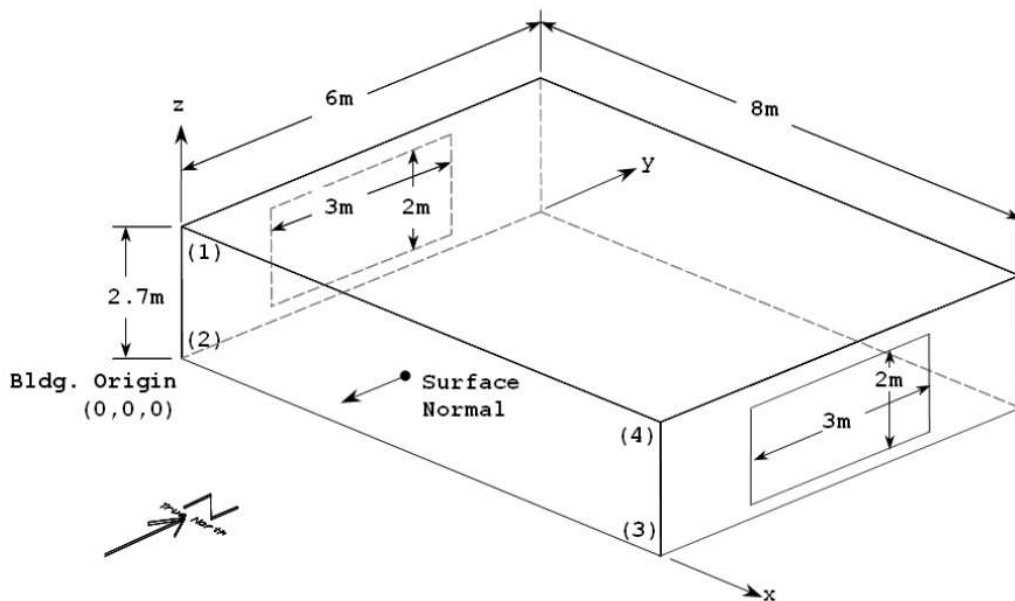


Fig. 4.1.5 : Posizionamento punto di origine e descrizione delle superfici attraverso le coordinate dei vertici.

- **Internal Gains**, modulo che delinea la presenza di persone, specificando gli orari e le attività svolte, l'utilizzo delle luci e dei componenti elettrici, tali da calcolarne i consumi energetici e gli apporti termici per ogni zona.
- **Zone Airflow**, in cui vengono descritte le possibili infiltrazioni ed i ricambi d'aria.
- **Output Reporting**, che specifica tutti i parametri richiesti dalla simulazione come risultati, indicandone anche i relativi intervalli di calcolo.

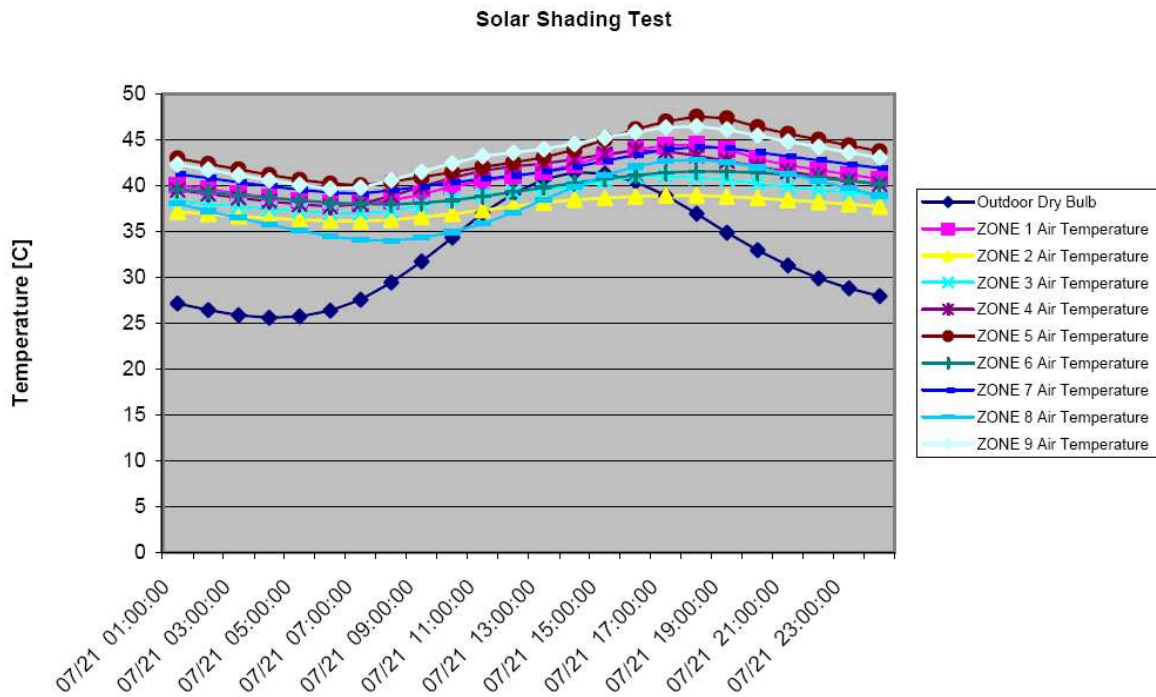


Fig. 4.2.6 : Esempio di risultati che il programma fornisce alla richiesta di un determinato output, in questo caso la temperatura dell'aria nelle varie zone durante un arco di tempo della giornata.

4.2 IL PROGETTO

Il progetto utilizzato come oggetto di simulazione per questo lavoro di tesi è un semplice modello di complesso residenziale, sviluppato su tre piani in altezza, rialzati dal terreno da una struttura di piloties (Vedi Fig. 4.2.1).

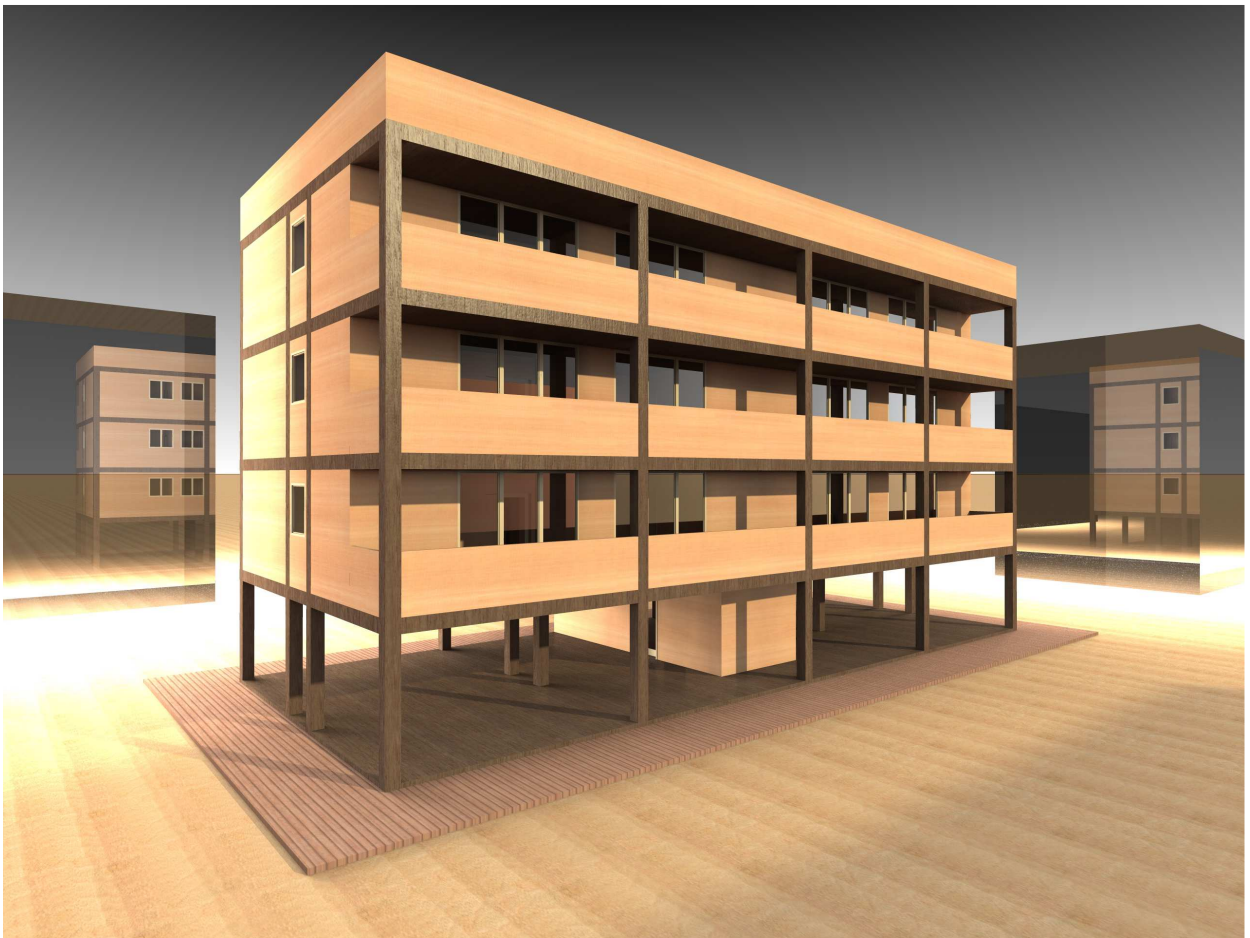


Fig. 4.2.1 : Modello del progetto utilizzato come oggetto della simulazione.

Ogni piano ospita due appartamenti (Vedi Fig4.2.3), per un totale dunque di sei appartamenti, che compongono le sei zone climatiche definite durante la simulazione (Vedi Fig. 4.2.2).

Tale distribuzione permette di confrontare tre categorie di zone climatiche (Vedi Fig. 4.2.2), ovvero:

- Categoria A: Appartamenti 1 e 2 (primo piano) = zone poco esposte a irradiazione solare, ma molto esposte a infiltrazioni.
- Categoria B: Appartamenti 3 e 4 (piano intermedio) = zone poco esposte sia a irradiazione solare, sia a infiltrazioni.
- Categoria C: Appartamenti 5 e 6 (ultimo piano) = zone molto esposte sia a irradiazione solare, sia a infiltrazioni.

Questa sarà una delle distinzioni per cui la simulazione potrà mostrare differenti comportamenti tra le zone climatiche.

App. 5 = zona climatica 5	App. 6 = zona climatica 6
App. 3 = zona climatica 3	App. 4 = zona climatica 4
App. 1 = zona climatica 1	App. 2 = zona climatica 2

Fig. 4.2.2: Definizione zone climatiche.

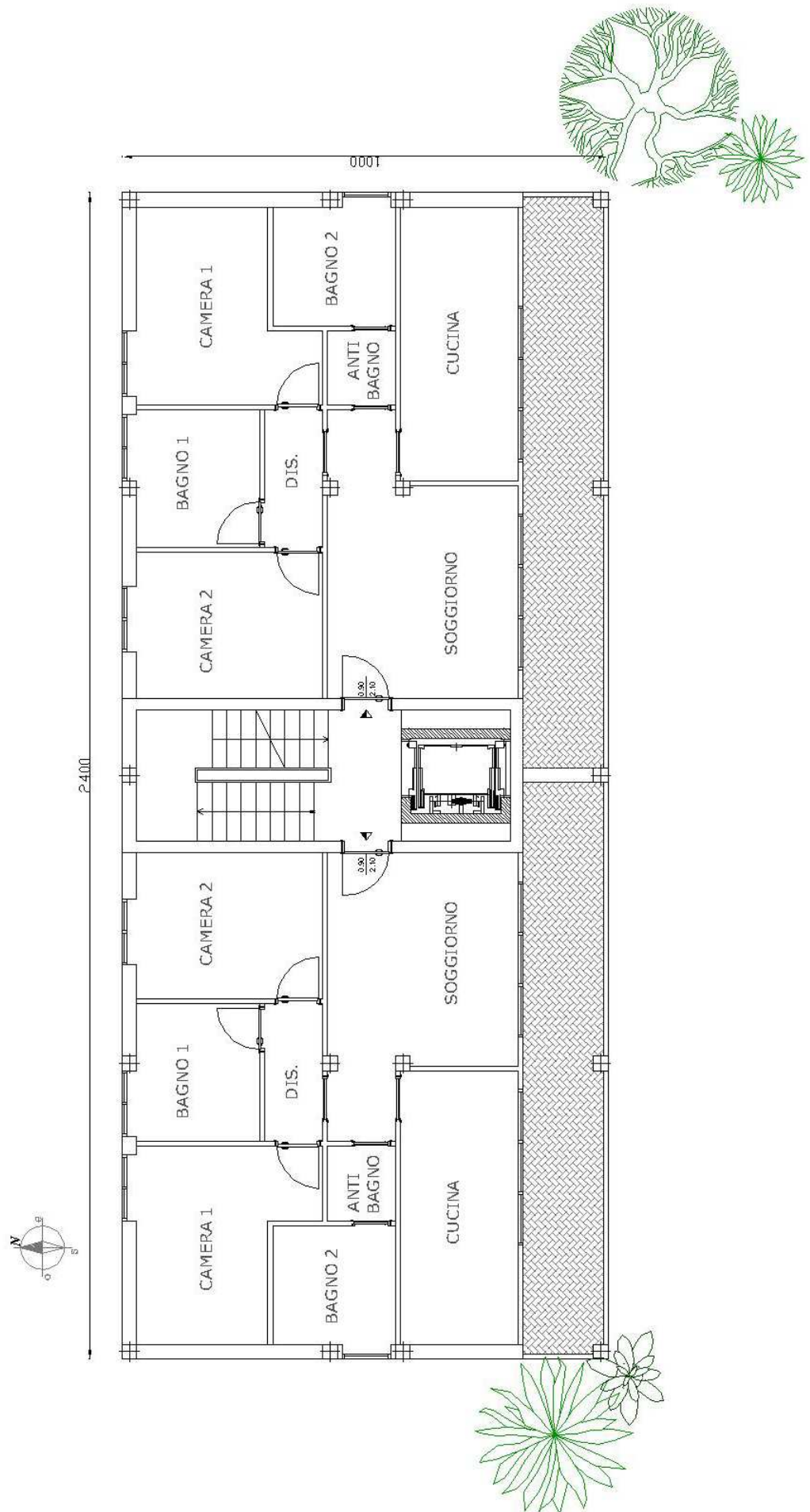


Fig. 4.2.3: Pianta piano tipo.

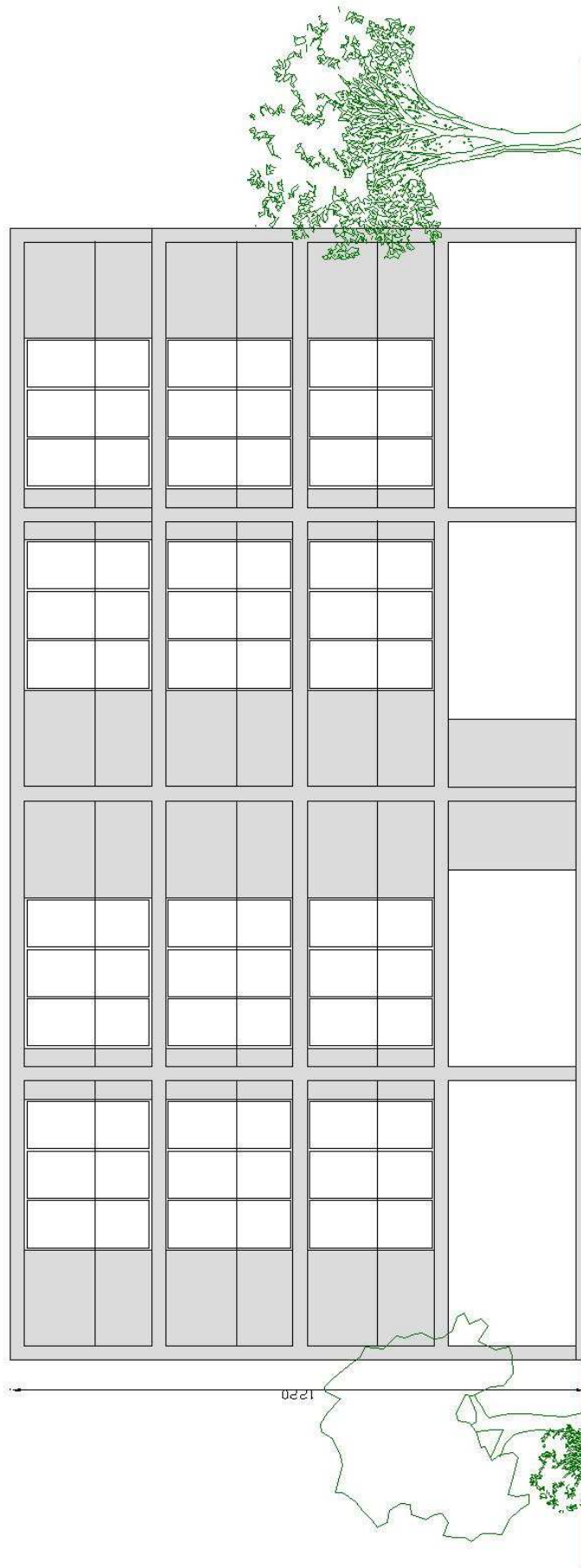


Fig. 4.2.4 : Prospetto Sud.

Come precedentemente anticipato, EnergyPlus interpreta la geometria dell'edificio attraverso due tipologie di immissione dei dati: o attraverso un modello 3D, creato dai software supportati, allegato in fase di lancio del programma oppure attraverso l'inserimento delle coordinate dei vertici di ogni superficie, finestra, porte, separazioni interne, zone d'ombra ecc. riferiti ad un punto (0,0,0) precedentemente posizionato rispetto all'edificio e specificato negli "input".

Tali dati vengono inseriti all'interno di EnergyPlus nel modulo "Thermal Zones and Surfaces", in cui, dopo aver definito le differenti zone climatiche nell'edificio, in questo caso i sei appartamenti, vengono definite tutte le superfici per ogni zona climatica attraverso le coordinate (Vedi Fig. 4.2.5).

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6	Obj7	Obj8	Obj9	Obj10	Obj11
Name		Sud 1P App1	Sud 2P App3	Sud 3P App5	Sud 1P App2	Sud 2P App4	Sud 3P App6	Est 1P App2	Est 2P App4	Est 3P App6	Nord 1P App2	Nord 2P App4
Surface Type		Wall	Wall	Wall	Wall	Wall	Wall	Wall	Wall	Wall	Wall	Wall
Construction Name		Pareti vert esterne	Pareti vert esterne	Pareti vert esterne	Pareti vert esterne	Pareti vert esterne	Pareti vert esterne	Pareti vert esterne	Pareti vert esterne	Pareti vert esterne	Pareti vert esterne	Pareti vert esterne
Zone Name		App1-1P	App3-2P	App5-3P	App2-1P	App4-2P	App6-3P	App2-1P	App4-2P	App6-3P	App2-1P	App4-2P
Outside Boundary Condition		Outdoors	Outdoors	Outdoors	Outdoors	Outdoors	Outdoors	Outdoors	Outdoors	Outdoors	Outdoors	Outdoors
Outside Boundary Condition Object												
Sun Exposure		SunExposed	SunExposed	SunExposed	SunExposed	SunExposed	SunExposed	SunExposed	SunExposed	SunExposed	SunExposed	SunExposed
Wind Exposure		WindExposed	WindExposed	WindExposed	WindExposed	WindExposed	WindExposed	WindExposed	WindExposed	WindExposed	WindExposed	WindExposed
View Factor to Ground		autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate
Number of Vertices		4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Vertex 1 X-coordinate	m	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	10	10	10	10	10
Vertex 1 Y-coordinate	m	13.6	13.6	13.6	0	0	0	0	0	0	10.4	10.4
Vertex 1 Z-coordinate	m	3	6	9	3	6	9	3	6	9	3	6
Vertex 2 X-coordinate	m	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	10	10
Vertex 2 Y-coordinate	m	24	24	24	10.4	10.4	10.4	0	0	0	0	0
Vertex 2 Z-coordinate	m	3	6	9	3	6	9	3	6	9	3	6
Vertex 3 X-coordinate	m	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	10	10
Vertex 3 Y-coordinate	m	24	24	24	10.4	10.4	10.4	0	0	0	0	0
Vertex 3 Z-coordinate	m	6	9	12	6	9	12	6	9	12	6	9
Vertex 4 X-coordinate	m	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	10	10	10	10	10
Vertex 4 Y-coordinate	m	13.6	13.6	13.6	0	0	0	0	0	0	10.4	10.4
Vertex 4 Z-coordinate	m	6	9	12	6	9	12	6	9	12	6	9

Fig. 4.2.5 : Modulo di EnergyPlus dedicato all'analisi della geometria delle zone climatiche

All'interno dello stesso modulo viene inserito un altro dato importante, cioè il nome del pacchetto che compone materialmente la singola superficie definita. In questo modo vengono abbinare tutte le superfici alle differenti stratigrafie descritte in modo specifico nel modulo "Surface Construction Elements".

Per la scelta dei materiali che compongono i differenti pacchetti, è stata inizialmente realizzata una raccolta di materiali, specificandone le relative caratteristiche tecniche: conduttività termica λ , massa volumica ρ , calore specifico c o conduttanza termica C (Vedi Tab.4.2.1).

MATERIALE	λ (W/mK)	ρ (Kg/m ³)	c (J/KgK)	C (W/mqK)	ρc (MJ/m ³ K)	FONTE
Aria 5 cm (a 293 K)	0.18	1.3		6.40		UNI 6946
Aria 8 cm (a 293 K)		1.3		6.40		UNI 6946
Acqua in quiete (a 293 K)	0.6	1000		6.40		UNI 10351
CALCESTRUZZI						
Cls di sabbia e ghiaia	0.7	1600	880		1.41	"Architettura e Ambiente" di M.Butera
	0.9	1800	880		1.58	"
	1.16	2000	880		1.76	"
	1.49	2200	880		1.94	"
	1.91	2400	880		2.11	"
Cls di argilla espansa	0.16	500	880		0.44	"
	0.21	700	880		0.62	"
	0.31	1000	880		0.88	"
	0.39	1200	880		1.06	"
	0.57	1500	880		1.32	"
	0.75	1700	880		1.50	"
Cls cellulare autoclavato	0.15	400	880		0.35	"
	0.19	600	880		0.53	"
	0.25	800	880		0.70	"
Cls di perlite e vermiculite	0.15	400	1380		0.55	"
Latero Cemento	0.8	250	880		0.22	"
Cls in blocchi cavi	1.1	180	880		0.16	"
Cls strutturale premiscelato 1400	0.42	1400	1000		1.40	"Leca"
Cls strutturale premiscelato 1600	0.54	1600	1000		1.60	"
Cls argilla espansa Lecacem mini	0.14	600	880		0.53	"
Cls argilla espansa Lecacem maxi	0.12	450	880		0.40	"
Cls argilla espansa Lecamix	0.25	1000	880		0.88	"

Tab. 4.2.1 : Raccolta dei materiali da costruzione per lo studio della composizione dei pacchetti e le relative qualità tecniche.

MATERIALE	λ (W/mK)	ρ (Kg/m3)	c (J/KgK)	C (W/mqK)	ρc (MJ/m3K)	FONTI
METALLI						
Acciaio	45	7800	480		3.74	<i>CIBSE guide - Environmental design</i>
Acciaio inossidabile	16	8000	480		3.84	"
Alluminio	230	2700	880		2.38	"
Piombo	35	11340	130		1.47	"
Rame	384	8600	390		3.35	"
ROCCE NATURALI						
Ardesia	2	2700	1260		3.40	<i>"Architettura e Ambiente" di M.Butera</i>
Basalto	3.5	2800	1300		3.64	"
Granito	3.2	2500	880		2.20	"
Tufo	0.63	1500	700		1.05	"
IMPERMEABILIZZANTI						
Asfalto	0.5	1700	1000		1.70	<i>CIBSE guide - Environmental design</i>
	1.2	2300	1700		3.91	"
Asfalto con sabbia	0.7	1400	1010		1.41	<i>"Architettura e Ambiente" di M.Butera</i>
Bitume	0.9	1800	910		1.64	"
Cartone catramato	0.21	900	1090		0.98	"
LEGNAMI e derivanti						
Abete	0.12	450	1380		0.62	<i>"Architettura e Ambiente" di M.Butera</i>
Abete rosso	0.14	520	2280		1.19	"
Rovere	0.19	700	2390		1.67	"
Pino	0.15	550	1660		0.91	"
Acero	0.18	750	1220		0.92	"
Quercia	0.22	850	1260		1.07	"
Salice	0.14	520	2280		1.19	"
Truciolato	0.066	430	1260		0.54	"
LATERIZI						
Laterizio	0.25	600	840		0.50	<i>"Architettura e Ambiente" di M.Butera</i>
	0.36	1000	840		0.84	"
	0.43	1200	840		1.01	"
	0.5	1400	840		1.18	"
	0.59	1600	840		1.34	"
	0.72	1800	840		1.51	"
	0.9	2000	840		1.68	"
Laterizio alveolare	0.3	1000	840		0.84	<i>CIBSE guide - Environmental design</i>
Mattoni semipieni Poroton	0.22	800	840		0.67	<i>"Poroton"</i>
Blocchi forati in gesso	0.25	600	840		0.504	<i>"Rockwool"</i>
Tegole piane di Marsiglia	0.43	1200	840		1.008	"
Tegole in terracotta	0.81	1700	840		1.428	"

Tab. 4.2.1 : Raccolta dei materiali da costruzione per lo studio della composizione dei pacchetti e le relative qualità tecniche.

MATERIALE	λ (W/mK)	ρ (Kg/m ³)	c (J/KgK)	C (W/mqK)	ρc (MJ/m ³ K)	FONTE
RIEMPIMENTO						
Argilla espansa	0.09	250	920		0.23	"Architettura e Ambiente" di M.Butera
	0.1	330	920		0.30	"
	0.12	450	920		0.41	"
Fibre di cellulosa	0.058	32	1380		0.04	"
Perlite espansa	0.066	100	1340		0.13	"
Polistirolo espanso	0.054	15	1220		0.02	"
Sabbia	1.2	1700	840		1.43	"
INTONACI E RIVESTIMENTI						
Malta di gesso	0.29	600	1090		0.65	"Rockwool"
Gesso	0.35	1200	1090		1.31	"
Sabbia e gesso	0.7	1400	1010		1.41	"
Calce/Cemento e sabbia	0.9	1800	910		1.64	"
Cemento	1.4	2000	670		1.34	"
Lastre di carton gesso	0.21	900	1090		0.98	"
Gesso e vermiculite/perlite	0.23	720	1090		0.78	"
Lastre in fibrocemento	0.6	1800	1300		2.34	"
MATERIALI PLASTICI						
Polietilene espanso	0.04	25	1340		0.03	"Architettura e Ambiente" di M.Butera
Polietilene compatto	0.35	950	2210		2.10	"
Poliuretano espanso	0.035	35	1600		0.06	"
Resine ureiche	0.054	12	1610		0.02	"
Resine epossidiche	0.2	1200	1170		1.40	"
Polistirene espanso estruso	0.034	50	1470		0.07	"Rockwool"
Poliuretano in lastre	0.032	50	1590		0.08	"Rockwool"
Pannello schiuma polyiso	0.024	44	1458		0.06	"Stiferite"
PORCELLANE						
Piastrelle	1	2300	800		1.84	"Architettura e Ambiente" di M.Butera
FIBRE MINERALI						
di vetro in feltri resinati	0.046	16	670		0.01	"Architettura e Ambiente" di M.Butera
di vetro in pannelli semirigidi	0.043	20	670		0.01	"
di vetro in pannelli rigidi	0.038	100	800		0.08	"
di roccia in pannelli semirigidi	0.042	40	670		0.03	"
di roccia in pannelli rigidi	0.039	80	670		0.05	"
di legno compresse	0.055	320	100		0.03	CIBSE guide - Environmental design
Lana di roccia	0.034	80	670		0.05	"Rockwool"

Tab. 4.2.1 : Raccolta dei materiali da costruzione per lo studio della composizione dei pacchetti e le relative qualità tecniche.

I materiali scelti e le relative caratteristiche per la composizione dei pacchetti vengono inseriti nel modulo “Surface Construction Elements”, all’interno del campo “Material”, mentre la stratigrafia dei pacchetti, che richiama questi materiali, all’interno del campo “Construction”. Per questo progetto è stata scelta una stratigrafia per le varie tipologia di superficie:

- Pareti verticali esterne: - intonaco in malta di gesso
 - calcestruzzo strutturale
 - isolante in lana di roccia
 - lastre in fibrocemento

- Copertura: - intonaco in malta di gesso
 - calcestruzzo strutturale
 - isolante in lana di roccia
 - cartone catramato
 - calcestruzzo in argilla espansa
 - piastrelle per esterni

- Pareti divisorie interne: - intonaco in malta di gesso
 - tavolato in laterizio forato
 - intonaco in malta di gesso

- Soletta su terreno: - piastrelle per interni
 - calcestruzzo in argilla espansa
 - calcestruzzo strutturale
 - isolante in lana di roccia
 - cartone catramato
 - calcestruzzo in argilla espansa

- Solette di interpiano: - intonaco in malta di gesso
 - calcestruzzo strutturale
 - isolante in lana di roccia
 - calcestruzzo cellulare
 - piastrelle
- Superfici trasparenti: - vetro a bassa emissività
 - intercapedine d'aria
 - vetro a bassa emissività

È stato scelto di sviluppare differenti simulazioni, mantenendo invariato il progetto a livello geometrico, cambiando però la composizione dei pacchetti che definiscono l'involcro opaco delle zone climatiche: vengono modificati i materiali, oppure semplicemente gli spessori degli strati, causando così un cambiamento nella massa e nella trasmittanza dei pacchetti.

Sono sette le varianti utilizzate per le simulazioni (*Vedi Tab. 4.2.2*):

1. Pacchetti la cui trasmittanza (**U**) rispetta i limiti stabiliti dalla normativa nazionale DLG 311/2006 (*Vedi Par. 3.2*).
2. Pacchetti la cui trasmittanza rientra nei valori limite di trasmittanza con maggiorazione del 30%, permessa per alcune tipologie dal DLG 311/2006 (*Vedi Par. 3.2*). L'aumento della trasmittanza viene qui abbinata alla maggiorazione consistente della massività (**m**) del pacchetto.
3. Pacchetti che presentano un aumento consistente della trasmittanza, **U=0,8** (W/mqK), abbinato alla maggiorazione consistente della massività.
4. Pacchetti la cui massività rimane invariata, ma con trasmittanza maggiorata, **U=0,8** (W/mqK).
5. Pacchetti la cui trasmittanza rispetta i limiti stabiliti dalla normativa nazionale DLG 311/2006, mentre presentano l'aumento consistente della massività.

6. Pacchetti con massività invariata e diminuzione consistente della trasmittanza, $U=0,2$ (W/mqK), rientrando dunque in un caso di “Passive house”.
7. Pacchetti che presentano la diminuzione consistente della trasmittanza, $U=0,2$ (W/mqK), abbinata all’incremento della massività.

MILANO			
Pacchetto	Descrizione	U (W/mqK)	m (kg/mq)
1	U=richiesta da normativa	0.34	100
2	U=maggiorazione 30% m=maggiorata	0.44	420
3	U=0,8 m=maggiorata	0.8	420
4	U=0,8	0.8	100
5	U=richiesta da normativa m=maggiorata	0.34	420
6	U=0,2	0.2	100
7	U=0,2 m=maggiorata	0.2	420
ROMA			
Pacchetto	Descrizione	U (W/mqK)	m (kg/mq)
1	U=richiesta da normativa	0.36	240
2	U=maggiorazione 30% m=maggiorata	0.47	450
3	U=0,8 m=maggiorata	0.8	450
4	U=0,8	0.8	240
5	U=richiesta da normativa m=maggiorata	0.36	450
6	U=0,2	0.2	240
7	U=0,2 m=maggiorata	0.2	450
PALERMO			
Pacchetto	Descrizione	U (W/mqK)	m (kg/mq)
1	U=richiesta da normativa	0.48	240
2	U=maggiorazione 30% m=maggiorata	0.62	450
3	U=0,8 m=maggiorata	0.8	450
4	U=0,8	0.8	240
5	U=richiesta da normativa m=maggiorata	0.48	450
6	U=0,2	0.2	240
7	U=0,2 m=maggiorata	0.2	450

Tab. 4.2.2 :
Descrizione
pacchetti

La scelta di sviluppare la simulazione con più soluzioni di involucro della zona climatica è dovuta alla possibilità di ottenere, attraverso il confronto dei risultati, delle informazioni su come la trasmittanza e la massa agiscono sulle prestazioni del pacchetto. La combinazione fra loro che migliora le prestazioni dipende dal contesto climatico in cui il progetto viene inserito, quindi non è definibile una loro combinazione migliorativa generica.

Necessario per la simulazione è inoltre l'inserimento dei dati che descrivono il guadagno interno di energia ulteriore rispetto a quello fornito dalla pareti, ovvero la presenza di persone e le attività da loro svolte nelle differenti zone climatiche. Per questa simulazione, oggetto di tesi, è stato scelto di definire tali dati e di mantenerli costanti per la differenti zone climatiche.

È stato delineato un andamento rispetto ad un giorno tipico, Design Day (*Vedi Par. 4.4*), rispetto alla presenza di persone e le loro attività svolte, calcolando innanzitutto la potenza (W) da loro fornita; tale parametro è stato ottenuto attraverso il prodotto tra il numero di persone, l'Area di Dubois **ADU** (mq), e la potenza (W) relativa all'attività svolta (*Vedi Tab. 4.2.3*). [4]

n° persone	Area di Dubois ADU (mq)	Tipologia Attività	Potenza M (W/mq)	Potenza (W) (1 Persona)
1	1.65	Dormire	40	66
1	1.65	Cucinare/Mangiare	105	173.25
1	1.65	Pulire	150	247.5
1	1.65	Stare seduti rilassati	60	99

Tab. 4.2. : Calcolo dell'energia fornita da ogni persona in base all'attività

Il valore di energia prodotta da ogni singola persona all'interno della zona climatica verrà moltiplicata per il numero di persone presenti (ipotizzando per semplificazione che stiano svolgendo la stessa attività); tali dati vengono inseriti all'interno del modulo in EnergyPlus "Internal Gains", ricostruendo l'andamento sulle 24 ore della giornata, insieme agli apporti energetici forniti dall'utilizzo della luce artificiale e degli strumenti elettronici (Vedi Fig.4.2.6)

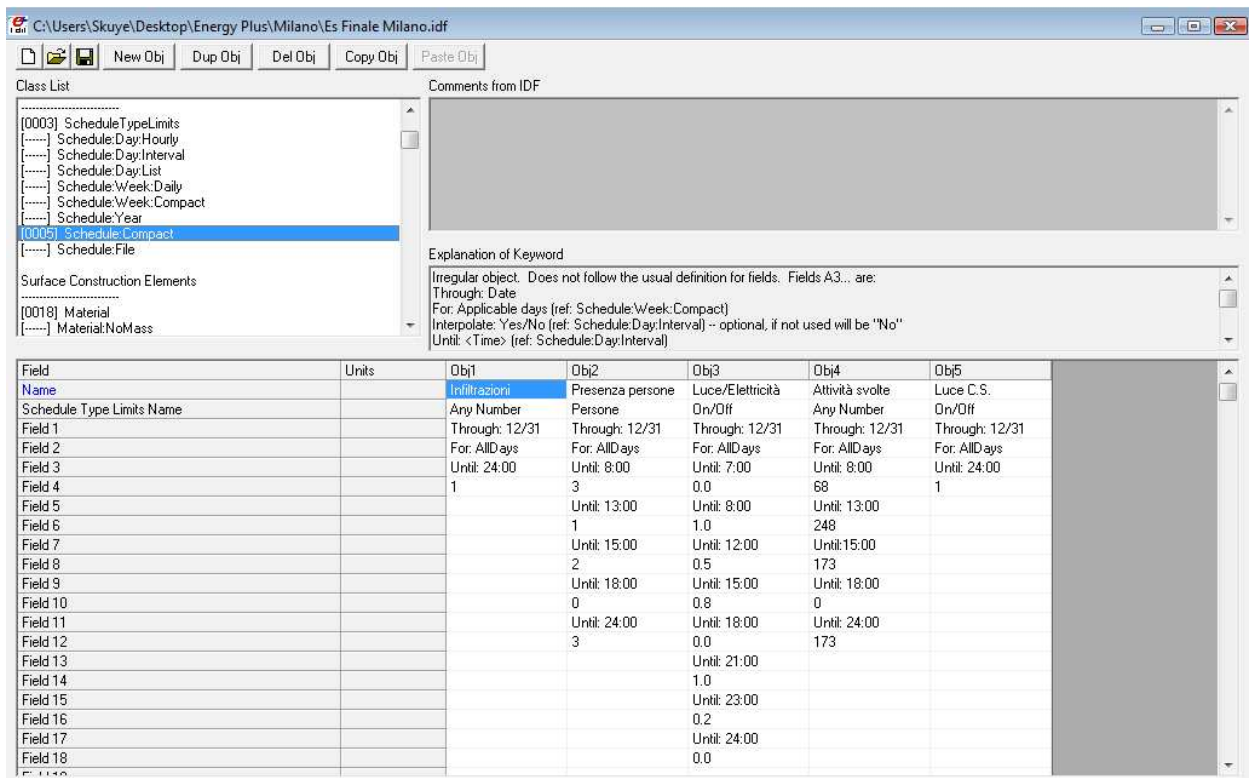


Fig. 4.2.6 : Modulo di EnergyPlus in cui vengono inseriti i dati sui guadagni interni, "Internal Gains" e "Schedule".

4.3 INSERIMENTO IN DIVERSI CONTESTI

Lo stesso progetto, oggetto di studio, oltre che essere stato ipotizzato con sette differenti involucri, è stato contestualizzato in tre capoluoghi italiani appartenenti a differenti zone climatiche, prevedendone dunque un differente comportamento prestazionale (Vedi Par.3.2). Inoltre tale confronto delinea come i parametri di massività e trasmittanza propri dei pacchetti, e la loro combinazione, intervengono diversamente sulle prestazioni dell'involucro.

I tre contesti selezionati sono, Milano, Roma e Palermo.

I dati climatici di queste tre città, durante il lavoro svolto, sono stati inseriti in EnergyPlus non attraverso i dati raccolti dalla normativa di riferimento in vigore UNI 10346 (Vedi Par.2.3), alternativa comunque possibile attraverso il modulo "Location and Climate", ma utilizzando il Weather File di EnergyPlus, risultato più completo durante il confronto delle due fonti, e soprattutto più flessibile verso le diverse possibilità di simulazione (Vedi Par.4.4): esso è un file scaricabile, disponibile sul sito del programma (www.energyplus.gov), per le città

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6	Obj7	Obj8	Obj9	Obj10
Name		Milano-Linate Ann F	Milano-Linate Ann F	Milano-Linate Ann F	Milano-Linate Ann F	Milano-Linate Ann F	Milano-Linate Ann F	Milano-Linate Ann C	Milano-Linate Ann C	Milano-Linate Ann C	Milano-Linate Ann C
Maximum Dry-Bulb Temperature	C	-5.2	-3.7	2.5	2.6	9.4	7.7	32.2	31	29.9	30.3
Daily Temperature Range	deltaC	0	0	0	0	0	0	10.1	10.1	10.1	10.1
Humidity Indicating Conditions at Maximum Dry-Bulb		-5.2	-3.7	-11.8	-9	9.4	7.7	23.7	22.9	22.3	24.7
Barometric Pressure	Pa	100094	100094	100094	100094	100094	100094	100094	100094	100094	100094
Wind Speed	m/s	0.4	0.4	0.4	0.4	10.9	8.9	2.3	2.3	2.3	2.3
Wind Direction	deg	220	220	220	220	220	220	220	220	220	220
Sky Clearness		0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
Rain Indicator		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Snow Indicator		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Day of Month		21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Month		1	1	1	1	1	1	7	7	7	7
Day Type		WinterDesignDay	WinterDesignDay	WinterDesignDay	WinterDesignDay	WinterDesignDay	WinterDesignDay	SummerDesignDay	SummerDesignDay	SummerDesignDay	SummerDesignDay
Daylight Saving Time Indicator		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Humidity Indicating Type		Wet-Bulb	Wet-Bulb	Dew-Point	Dew-Point	Wet-Bulb	Wet-Bulb	Wet-Bulb	Wet-Bulb	Wet-Bulb	Wet-Bulb
Relative Humidity Day Schedule Name											

Fig. 4.3.1: Modulo di EnergyPlus in cui vengono inseriti i dati climatici, "Location and Climate", in questo caso utilizzando il Weather File.

principali nel mondo, fonte di tutti i dati climatici necessari utilizzati dal programma durante la simulazione.

I parametri climatici che vengono utilizzati da EnergyPlus per effettuare la simulazione sono:

- temperatura massima a bulbo secco (°C)
- Sbalzo di temperatura giornaliera (Δ °C)
- umidità a temperatura massima a bulbo secco (°C)
- umidità relativa (%)
- pressione barometrica (Pa)
- velocità del vento (m/s)
- direzione del vento (deg)
- copertura cielo (decimi)
- indicatore di pioggia (mm)
- indicatore di neve (cm)
- latitudine (deg)
- longitudine (deg)
- elevazione (mt)
- fusorario (hr)

Questi sono dunque i parametri che sono stati modificati tra le simulazioni nei diversi contesti (*Vedi Tab.2.3.5*)

Nel caso in cui la simulazione venisse richiesta riferita ad un arco di tempo di un preciso giorno, Design Day (*Vedi Par.4.4*), il programma richiede oltre ai dati appena elencati di specificare:

- giorno di riferimento
- mese di riferimento
- tipologia di giorno

4.4 DUE TIPOLOGIE DI SIMULAZIONE

Oltre ad aver ipotizzato differenti involucri delle zone climatiche e ad aver inserito il progetto in diversi contesti climatici, sono state effettuate per tutte le combinazioni proposte, due tipologie di simulazione: la prima simulazione a evoluzione libera (secondo il Design Day e secondo la simulazione annuale) e la seconda come simulazione annuale in cui viene valutato l'inserimento di impianto di riscaldamento e raffrescamento.

La simulazione a evoluzione libera viene utilizzata per poter valutare le prestazioni dell'involucro, nel caso di assenza di impianti, e delle condizioni interne che vengono a crearsi nelle zone climatiche; la condizione di evoluzione libera implica che nella simulazione le prestazioni del modello vengano condizionate unicamente dalle condizioni del contesto, come ad esempio la temperatura esterna e la radiazione solare, e dalle caratteristiche dei pacchetti, i cui parametri confrontati sono la trasmittanza, la massa, il fattore di attenuazione e di sfasamento.

Tra questo tipo di simulazioni, quella secondo il Design Day, in particolare, richiede l'analisi del comportamento della zona climatica nell'arco di tempo di una giornata precisa, quindi nell'arco di 24 ore.

Durante questo lavoro di tesi è stato scelto di effettuare tale simulazione prendendo in considerazione il giorno estivo con condizioni climatiche estreme, quindi il giorno che secondo i dati raccolti risulta il più caldo nell'arco della stagione estiva: il 21 Luglio.

[Weather File, Energy Plus]

Data tale scelta, l'elaborazione svilupperà i risultati, "output", selezionati e richiesti per la valutazione:

- temperatura minima (°C)
- temperatura massima (°C)
- temperatura media (°C)
- ora di picco (h)
- escursione termica (°C)

Questi sono i parametri, riferiti alle condizioni interne di ogni zona climatica, su cui si baserà il confronto tra le prestazioni dei differenti pacchetti studiati.

Per il calcolo del Design Day è importante sottolineare che per i dati climatici richiesti per la simulazione non possono essere utilizzati quelli forniti dalla normativa UNI 10346 (*Tab2.3.4*), poiché essa riporta i valori medi mensili dei parametri richiesti (e comunque non in modo completo), utilizzabili per una simulazione di periodi di mesi o annuali. Vengono dunque utilizzati i dati forniti dal database del programma, il Weather File. I dati climatici riferiti alla città di contestualizzazione vengono in questo caso inseriti sempre nel modulo "Location and Climate", ma nel campo "Sizing Period:Design Day", in cui vengono richiesti gli stessi parametri utilizzati per simulazioni di periodi più lunghi, ma ovviamente riferiti al singolo giorno considerato, specificato all'interno del medesimo campo (*Vedi Fig.4.4.1*)

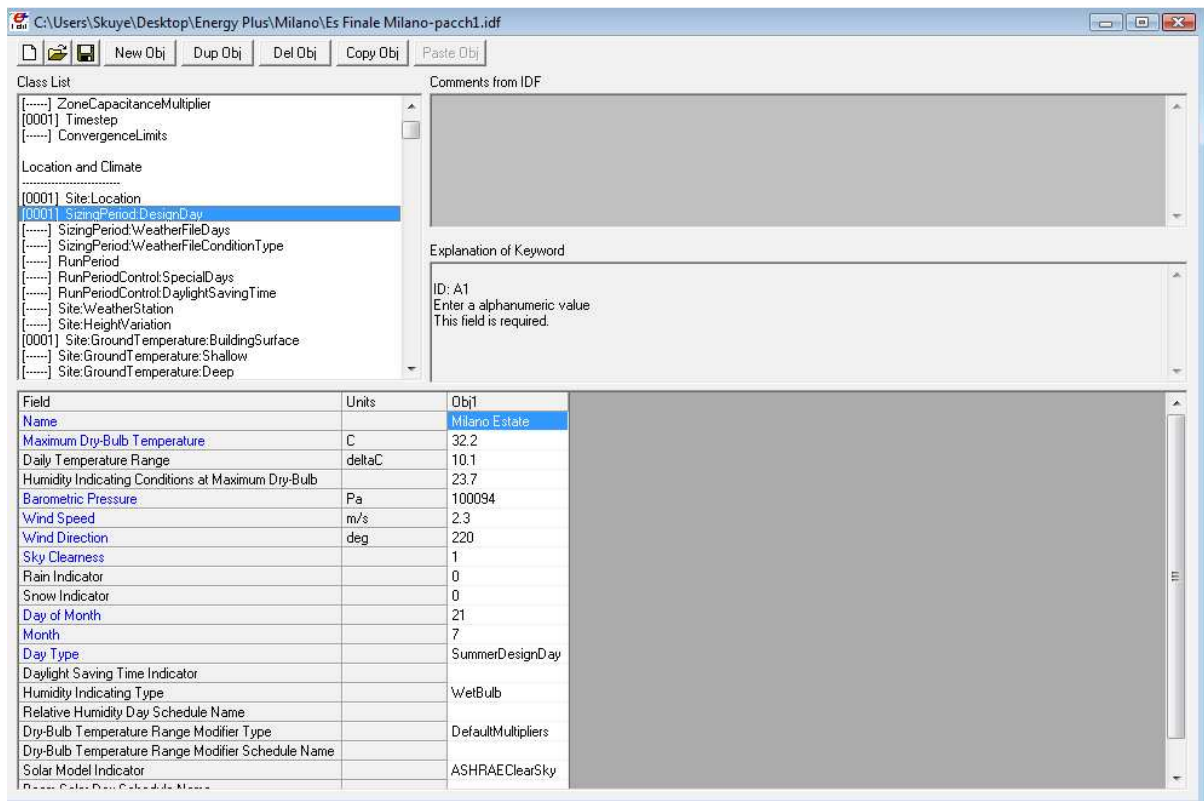


Fig. 4.4.1 : Modulo di EnergyPlus in cui vengono inseriti i dati climatici, “Location and Climate”, per la simulazione del Design Day, “Sizing Period:Design Day”.

Per la seconda tipologia di simulazione sviluppata a evoluzione libera, cioè la simulazione annuale, è importante evidenziare che essa fornisce dati sull'intero arco dell'anno, quindi utile per colcolare sia le condizioni invernali sia quelle estive.

I dati climatici sono stati inseriti attraverso il Weather file, specificando solo il giorno di inizio per la simulazione, da cui poi parte l'anno di calcolo.

I parametri su cui la simulazione annuale a evoluzione libera è stata utilizzata per confrontare i risultati ottenuti sono la frequenza delle temperature interne registrate nell'arco di ogni mese, le temperature interne medie mensili e le “deviazioni standard pop” (Vedi Par.5.1).

L'altra tipologia di simulazione, che prevede dunque l'inserimento di impianti, è la simulazione annuale con “Purch Air”, che verrà utilizzata per richiedere differenti output: tale simulazione infatti è stata utilizzata per calcolare il fabbisogno energetico annuo per il riscaldamento **Eph** (KWh/mq a), il fabbisogno energetico per il

raffrescamento **Etc** (KWh/mq a) e di conseguenza l'energia primaria necessaria **EP** (KWh/mq a), somma del fabbisogno energetico estivo ed invernale, definendo successivamente la percentuale di differenza tra le prestazioni dei sette pacchetti proposti (*Vedi Par.5.2*).

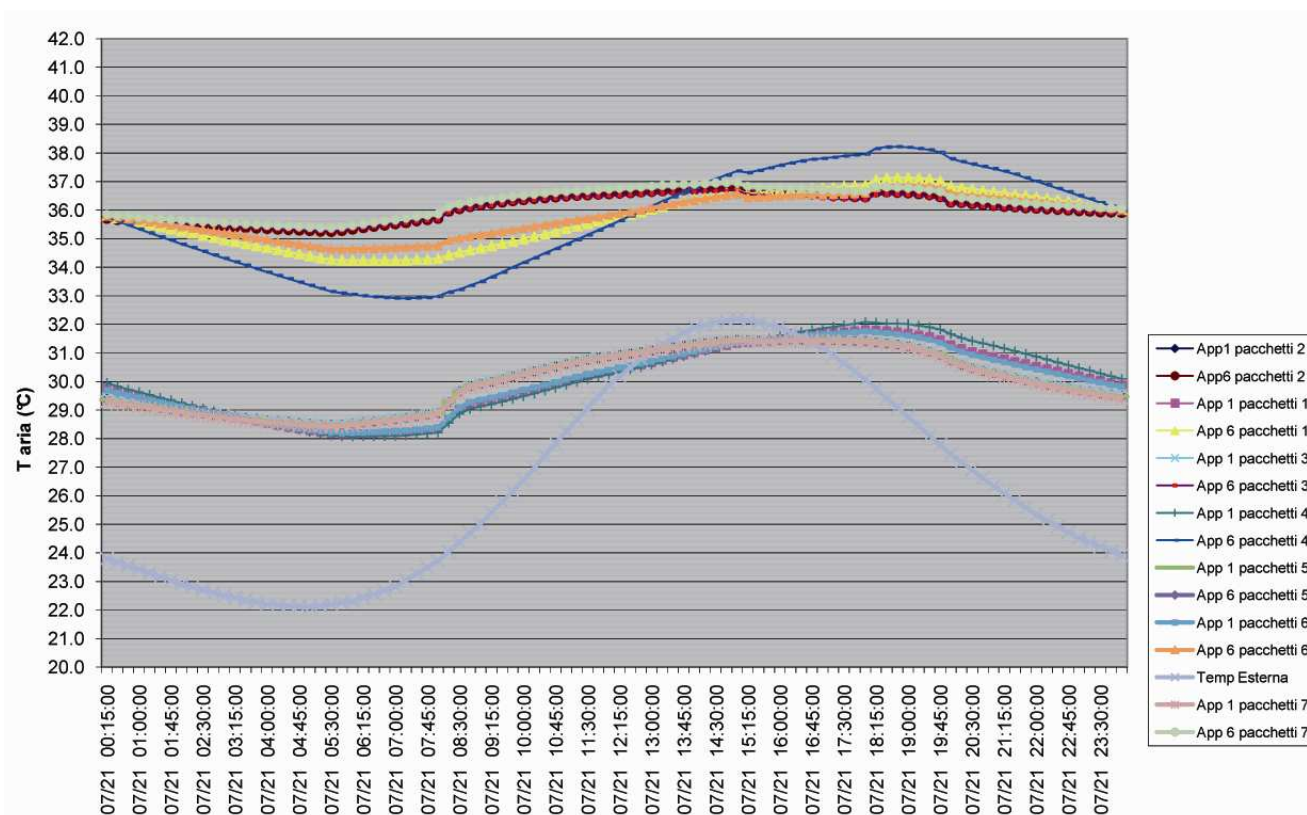
In questa simulazione viene introdotto il lavoro degli impianti e fissata la richiesta di temperatura minima invernale di 20°C nella fascia oraria tra le 9:00 e le 18:00 e nella stessa fascia oraria la richiesta di temperatura massima estiva di 26°C, rispettando i periodi di accensione impianti, differenti nei diversi contesti, definiti dai decreti DPR 412/93 e l'integrazione DPR 551/99 (*Vedi Par.3.1*).

5 RISULTATI

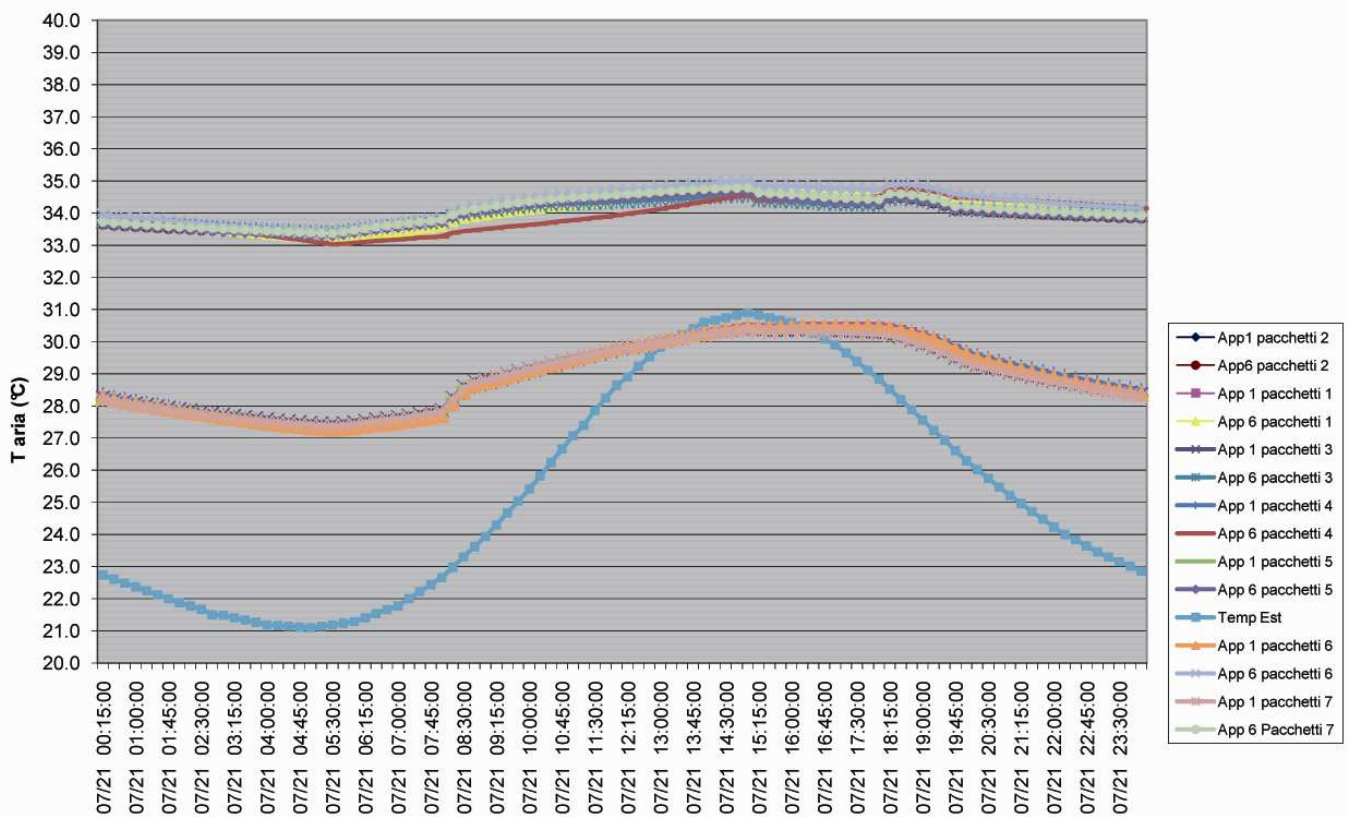
5.1 CONFRONTO PRESTAZIONI DEI PACCHETTI CONSIDERANDO LA SITUAZIONE A EVOLUZIONE LIBERA

Dopo aver analizzato i risultati forniti dalle simulazioni è stata effettuata una rielaborazione utilizzata per poter interpretare i dati e confrontare le prestazioni dei pacchetti, nei differenti contesti climatici e nelle due condizioni di simulazione studiati.

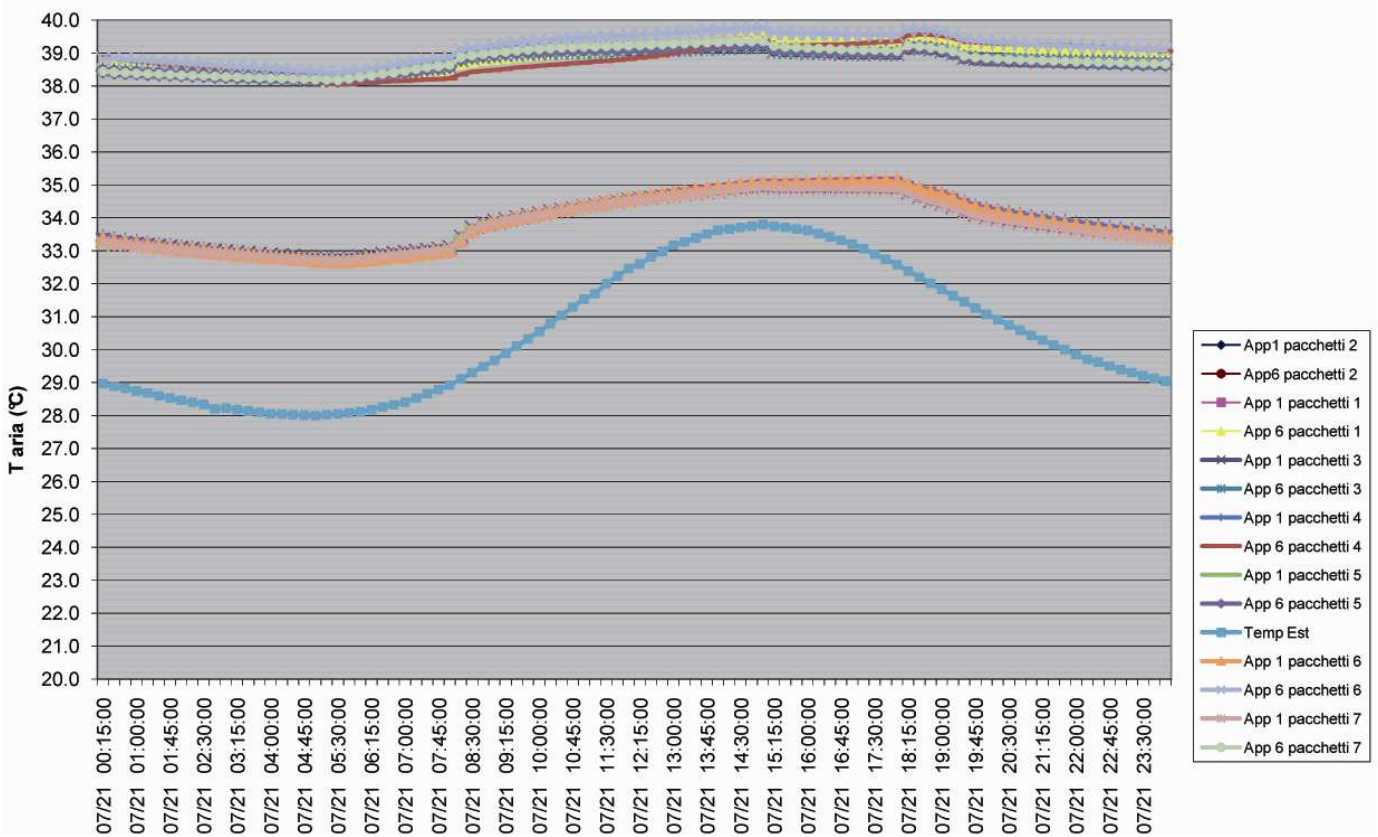
La prima tipologia analizzata è la simulazione nella condizione di evoluzione libera per il Design Day, i cui risultati prodotti dalla simulazione con EnergyPlus riportano l'andamento delle temperatura dell'aria interna per ogni zona climatica nell'arco della giornata relazionata all'andamento della temperatura dell'aria esterna (Vedi Graf.5.1.1-5.1.2-5.1.3).



Graf. 5.1.1 : Risultati ottenuti con la simulazione EnergyPlus del Design Day che descrivono l'andamento della temperatura dell'aria interna nel caso di Milano.



Tab. 5.1.2 : Risultati ottenuti con la simulazione EnergyPlus del Design Day che descrivono l'andamento della temperatura dell'aria interna nel caso di Roma.



Graf. 5.1.3 : Risultati ottenuti con la simulazione EnergyPlus del Design Day che descrivono l'andamento della temperatura dell'aria interna nel caso di Palermo.

Per migliorare la leggibilità del grafico è stato scelto di riportare gli andamenti delle temperature di due sole zone climatiche, quello dell'appartamento 1, zona che ha riportato temperature più ridotte, e quello dell'appartamento 6, zona che ha invece riportato le temperature più elevate.

Tali andamenti riportano le temperature interne registrate nell'arco delle 24 ore con un intervallo di 15 minuti: le temperature sono relative alle due zone climatiche selezionate nelle sette ipotesi di differenti pacchetti.

È visibile a colpo d'occhio la differenza tra le temperature registrate nelle due zone climatiche a confronto e la differenza fra queste e l'andamento della temperatura esterna; quest'ultima varia tra le ore notturne, in cui la differenza è più ampia, e le ore giornaliere in cui essa diminuisce.

Nella rielaborazione dei risultati i parametri su cui sono state analizzate le prestazioni dei differenti pacchetti sono la temperatura minima, la temperatura massima, la temperatura media, l'ora di picco e l'escursione termica. Nelle tabelle 5.1.1, 5.1.2, 5.1.3 sono riportati i risultati suddivisi per contesti climatici e pacchetti utilizzati.

MILANO					
PACCHETTO 1					
	Temp MIN (°C)	Temp MAX (°C)	Temp MEDIA (°C)	Ora di picco (h)	Escursione termica (°C)
App 1	28.2	31.8	30.0	18.00	3.7
App 2	28.1	31.7	30.1	17.15	3.7
App 3	30.3	33.3	31.9	17.45	2.9
App 4	30.4	33.4	32.1	16.15	3.0
App 5	33.2	36.4	34.8	18.45	3.2
App 6	34.2	37.1	35.7	18.45	2.9
PACCHETTO 2					
	Temp MIN (°C)	Temp MAX (°C)	Temp MEDIA (°C)	Ora di picco (h)	Escursione termica (°C)
App 1	28.5	31.5	30.1	16.30	3.0
App 2	28.4	31.4	30.0	15.15	3.0
App 3	30.4	33.0	31.8	15.00	2.6
App 4	30.4	33.1	31.9	14.45	2.7
App 5	34.2	35.9	35.1	14.45	1.7
App 6	35.3	36.8	36.1	14.30	1.5

Tab. 5.1.1: Risultati ottenuti con la simulazione EnergyPlus del Design Day a Milano.

PACCHETTO 3					
	Temp MIN (°C)	Temp MAX (°C)	Temp MEDIA (°C)	Ora di picco (h)	Escursione termica (°C)
App 1	28.5	31.5	30.1	16.15	3.0
App 2	28.5	31.5	30.1	15.00	3.0
App 3	30.4	33.0	31.8	14.45	2.6
App 4	30.4	33.1	31.8	14.45	2.7
App 5	34.3	35.9	35.1	15.00	1.6
App 6	35.3	36.7	36.0	14.30	1.4
PACCHETTO 4					
	Temp MIN (°C)	Temp MAX (°C)	Temp MEDIA (°C)	Ora di picco (h)	Escursione termica (°C)
App 1	28.1	32.1	30.1	18.00	4.0
App 2	28.0	32.0	30.1	17.30	4.1
App 3	30.2	33.4	31.9	18.00	3.2
App 4	30.2	33.4	32.0	16.30	3.2
App 5	32.1	37.7	34.8	19.00	5.6
App 6	32.9	38.2	35.6	18.45	5.3
PACCHETTO 5					
	Temp MIN (°C)	Temp MAX (°C)	Temp MEDIA (°C)	Ora di picco (h)	Escursione termica (°C)
App 1	28.5	31.5	30.1	16.30	3.0
App 2	28.4	31.4	30.0	15.15	3.0
App 3	30.4	33.1	31.8	15.00	2.7
App 4	30.5	33.2	31.9	14.45	2.7
App 5	34.3	36.0	35.2	14.45	1.7
App 6	35.4	36.9	36.2	14.15	1.6
PACCHETTO 6					
	Temp MIN (°C)	Temp MAX (°C)	Temp MEDIA (°C)	Ora di picco (h)	Escursione termica (°C)
App 1	28.2	31.7	30.0	18.00	3.6
App 2	28.1	31.7	30.1	17.45	3.5
App 3	30.4	33.3	31.9	18.00	2.9
App 4	30.5	33.4	32.1	16.00	3.0
App 5	33.6	36.1	34.9	19.00	2.5
App 6	34.6	36.9	35.8	19.00	2.2
PACCHETTO 7					
	Temp MIN (°C)	Temp MAX (°C)	Temp MEDIA (°C)	Ora di picco (h)	Escursione termica (°C)
App 1	28.4	31.4	30.0	16.15	3.0
App 2	28.4	31.4	30.0	15.00	3.0
App 3	30.4	33.1	31.8	15.00	2.7
App 4	30.5	33.2	31.9	14.45	2.7
App 5	34.3	36.0	35.2	14.45	1.8
App 6	35.4	37.0	36.3	14.45	1.6

Tab. 5.1.1: Risultati ottenuti con la simulazione EnergyPlus del Design Day a Milano.

ROMA					
PACCHETTO 1					
	Temp MIN (°C)	Temp MAX (°C)	Temp MEDIA (°C)	Ora di picco (h)	Escursione termica (°C)
App 1	27.3	30.5	28.9	17.15	3.2
App 2	27.2	30.4	28.9	15.00	3.2
App 3	29.2	32.0	30.6	15.00	2.8
App 4	29.2	32.1	30.7	15.00	2.9
App 5	32.4	34.3	33.4	18.30	1.8
App 6	33.2	34.8	34.1	18.30	1.6
PACCHETTO 2					
	Temp MIN (°C)	Temp MAX (°C)	Temp MEDIA (°C)	Ora di picco (h)	Escursione termica (°C)
App 1	27.4	30.4	28.9	15.00	3.0
App 2	27.3	30.3	28.8	15.00	3.0
App 3	29.3	31.8	30.5	15.00	2.5
App 4	29.3	31.8	30.6	14.45	2.5
App 5	32.6	34.1	33.3	14.45	1.5
App 6	33.3	34.7	34.0	15.00	1.4
PACCHETTO 3					
	Temp MIN (°C)	Temp MAX (°C)	Temp MEDIA (°C)	Ora di picco (h)	Escursione termica (°C)
App 1	27.4	30.4	28.9	15.00	2.9
App 2	27.3	30.3	28.8	15.00	3.0
App 3	29.3	31.7	30.5	14.45	2.5
App 4	29.2	31.8	30.5	15.00	2.5
App 5	32.7	34.0	33.4	14.30	1.3
App 6	33.4	34.5	34.0	14.15	1.2
PACCHETTO 4					
	Temp MIN (°C)	Temp MAX (°C)	Temp MEDIA (°C)	Ora di picco (h)	Escursione termica (°C)
App 1	27.3	30.5	29.0	17.15	3.2
App 2	27.2	30.4	28.9	15.00	3.2
App 3	29.1	31.9	30.6	17.45	2.7
App 4	29.1	32.0	30.6	15.00	2.9
App 5	32.4	34.3	33.3	18.30	1.9
App 6	33.0	34.8	33.9	18.30	1.7
PACCHETTO 5					
	Temp MIN (°C)	Temp MAX (°C)	Temp MEDIA (°C)	Ora di picco (h)	Escursione termica (°C)
App 1	27.4	30.4	28.9	15.00	3.0
App 2	27.3	30.3	28.8	15.00	3.0
App 3	29.3	31.8	30.5	15.00	2.5
App 4	29.3	31.8	30.6	14.45	2.5
App 5	32.6	34.1	33.3	14.45	1.6
App 6	33.3	34.7	34.0	14.45	1.4

Tab. 5.1.2 : Risultati ottenuti con la simulazione EnergyPlus del Design Day a Roma.

PACCHETTO 6					
	Temp MIN (°C)	Temp MAX (°C)	Temp MEDIA (°C)	Ora di picco (h)	Escursione termica (°C)
App 1	27.3	30.5	29.0	17.00	3.2
App 2	27.2	30.4	28.9	15.15	3.2
App 3	29.2	32.1	30.7	16.30	2.8
App 4	29.3	32.2	30.8	16.00	2.9
App 5	32.6	34.4	33.5	15.00	1.8
App 6	33.4	35.0	34.3	14.45	1.6
PACCHETTO 7					
	Temp MIN (°C)	Temp MAX (°C)	Temp MEDIA (°C)	Ora di picco (h)	Escursione termica (°C)
App 1	27.4	30.4	28.9	15.00	3.0
App 2	27.3	30.3	28.9	14.45	3.0
App 3	29.3	31.8	30.6	14.45	2.5
App 4	29.4	31.9	30.6	14.45	2.5
App 5	32.6	34.2	33.4	14.45	1.6
App 6	33.4	34.8	34.1	14.30	1.4

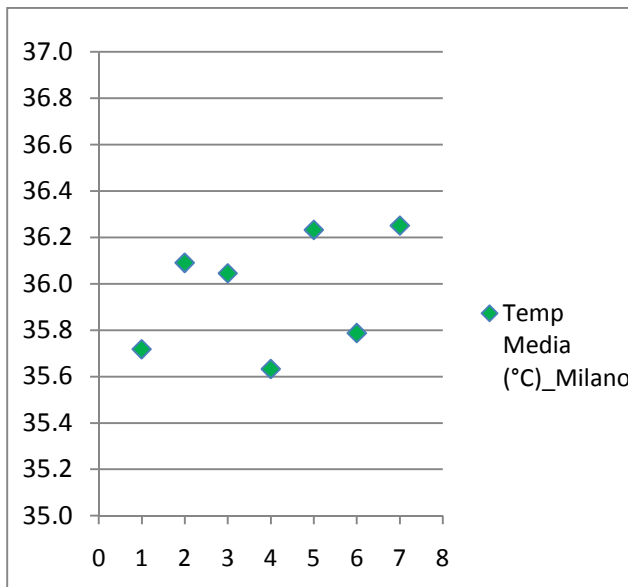
Tab. 5.1.2 : Risultati ottenuti con la simulazione EnergyPlus del Design Day a Roma.

PALERMO					
PACCHETTO 1					
	Temp MIN (°C)	Temp MAX (°C)	Temp MEDIA (°C)	Ora di picco (h)	Escursione termica (°C)
App 1	32.7	35.1	33.9	17.15	2.4
App 2	32.6	35.0	33.9	17.45	2.4
App 3	34.4	36.5	35.5	16.15	2.2
App 4	34.4	36.7	35.6	14.45	2.3
App 5	37.3	38.9	38.1	18.15	1.5
App 6	38.1	39.5	38.9	14.45	1.4
PACCHETTO 2					
	Temp MIN (°C)	Temp MAX (°C)	Temp MEDIA (°C)	Ora di picco (h)	Escursione termica (°C)
App 1	32.8	34.9	33.9	16.00	2.2
App 2	32.7	34.9	33.8	14.45	2.2
App 3	34.4	36.3	35.4	14.45	1.9
App 4	34.5	36.4	35.5	14.30	1.9
App 5	37.4	38.5	38.0	14.30	1.2
App 6	38.2	39.2	38.7	14.15	1.1

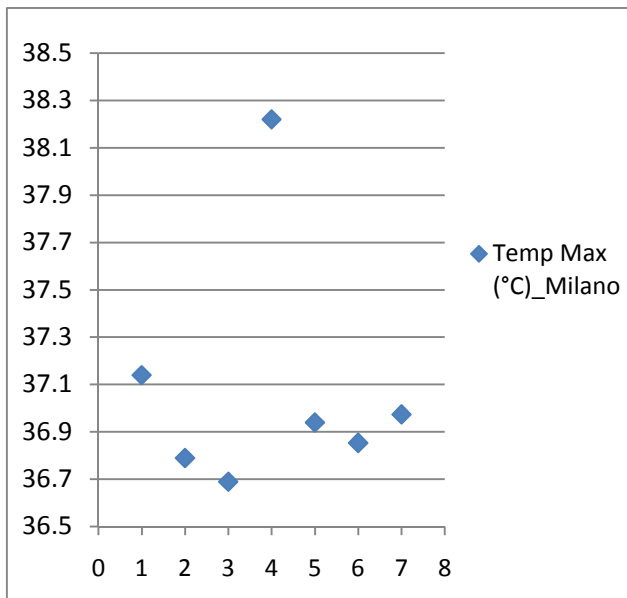
Tab. 5.1.3 : Risultati ottenuti con la simulazione EnergyPlus del Design Day a Palermo.

PACCHETTO 3					
	Temp MIN (°C)	Temp MAX (°C)	Temp MEDIA (°C)	Ora di picco (h)	Escursione termica (°C)
App 1	32.8	34.9	33.9	16.00	2.2
App 2	32.7	34.9	33.8	14.45	2.2
App 3	34.4	36.3	35.3	14.45	1.9
App 4	34.5	36.4	35.4	14.30	1.9
App 5	37.5	38.5	38.0	14.30	1.1
App 6	38.2	39.2	38.8	14.30	1.0
PACCHETTO 4					
	Temp MIN (°C)	Temp MAX (°C)	Temp MEDIA (°C)	Ora di picco (h)	Escursione termica (°C)
App 1	32.7	35.1	33.9	17.00	2.4
App 2	32.6	35.1	33.9	15.00	2.4
App 3	34.4	36.5	35.5	15.00	2.1
App 4	34.4	36.7	35.6	15.00	2.3
App 5	37.3	38.9	38.1	18.30	1.6
App 6	38.0	39.6	38.8	18.30	1.5
PACCHETTO 5					
	Temp MIN (°C)	Temp MAX (°C)	Temp MEDIA (°C)	Ora di picco (h)	Escursione termica (°C)
App 1	32.8	34.9	33.9	16.00	2.2
App 2	32.7	34.9	33.8	14.45	2.2
App 3	34.4	36.3	35.4	14.45	1.9
App 4	34.5	36.5	35.5	14.45	1.9
App 5	37.4	38.6	38.0	15.00	1.2
App 6	38.2	39.3	38.8	14.30	1.1
PACCHETTO 6					
	Temp MIN (°C)	Temp MAX (°C)	Temp MEDIA (°C)	Ora di picco (h)	Escursione termica (°C)
App 1	32.7	35.1	33.9	16.30	2.4
App 2	32.7	35.0	33.9	15.30	2.4
App 3	34.5	36.7	35.6	15.00	2.2
App 4	34.6	36.8	35.7	14.45	2.3
App 5	37.5	39.0	38.3	14.45	1.5
App 6	38.4	39.8	39.2	14.45	1.4
PACCHETTO 7					
	Temp MIN (°C)	Temp MAX (°C)	Temp MEDIA (°C)	Ora di picco (h)	Escursione termica (°C)
App 1	32.7	34.9	33.8	16.15	2.2
App 2	32.7	34.8	33.8	15.15	2.2
App 3	34.4	36.3	35.4	14.45	1.9
App 4	34.5	36.5	35.5	14.45	1.9
App 5	37.4	38.7	38.0	14.45	1.3
App 6	38.2	39.4	38.8	14.45	1.2

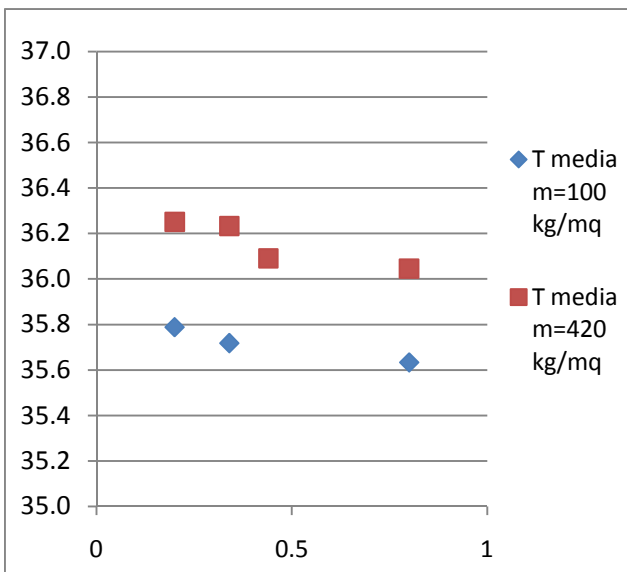
Tab. 5.1.3 : Risultati ottenuti con la simulazione EnergyPlus del Design Day a Palermo.



Graf. 5.1.4 : Temperatura media (Milano).



Graf. 5.1.5 : Temperatura massima (Milano).



Graf. 5.1.6 : Temperatura media in relazione alla massività e alla trasmittanza (Milano).

Sono state confrontate le prestazioni studiando i parametri sopraelencati.

MILANO

Analizzando la **temperatura media** (Vedi Graf.5.1.4) si nota che:

- i pacchetti 5 e 6 presentano le temperature più alte ($\approx 36,2-36,3^{\circ}\text{C}$)
- i pacchetti 2 e 3 presentano temperature intermedie ($\approx 36,1^{\circ}\text{C}$)

- i pacchetti 1, 4 e 6 presentano le temperature più basse ($\approx 35,6-35,8^{\circ}\text{C}$)

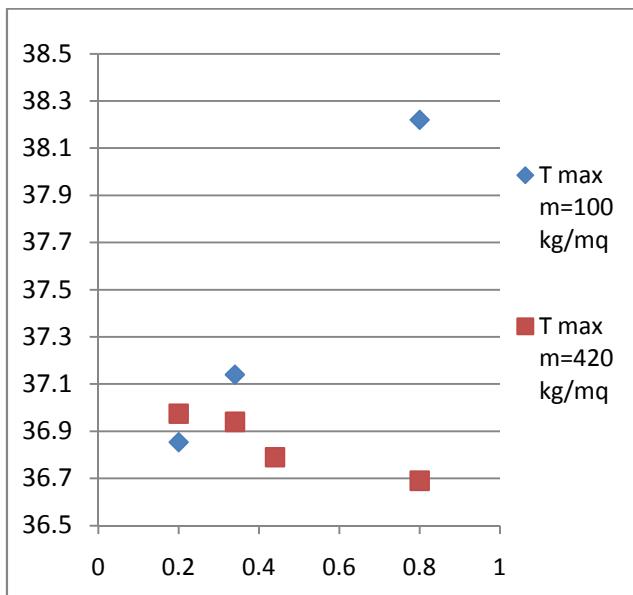
Analizzando la **temperatura massima** (Vedi Graf.5.1.5) si nota che:

- il pacchetto 4 presenta temperature altissime ($\approx 38,2^{\circ}\text{C}$)
- il pacchetto 1 presenta temperature medie ($\approx 37,2^{\circ}\text{C}$)
- i pacchetti 5, 6 e 7 presentano temperature basse ($\approx 36,9^{\circ}\text{C}$)

- i pacchetti 2 e 3 presentano temperature molto basse ($\approx 36,7-36,8^{\circ}\text{C}$)

Analizzando la **massa** (Vedi Graf.5.1.6 - 5.1.7) si nota che:

- aumentando la massa (pacchetti 2,3,5 e 7) aumenta la temperatura media ($\approx 0,5^{\circ}\text{C}$) e invece diminuisce la temperatura massima
- diminuendo la massa (Pacchetti 1,4 e 6) diminuisce la temperatura media, ma aumenta la temperatura massima

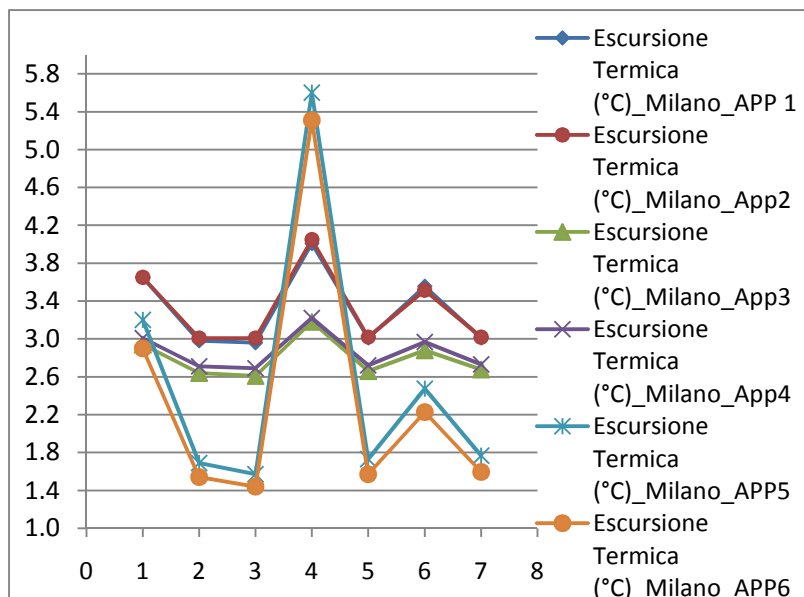


Graf. 5.1.7: Temperatura massima in relazione alla massività e alla trasmittanza (Milano).

Analizzando la **trasmittanza** (Vedi Graf.5.1.6 - 5.1.7) si nota che:

- aumentando la trasmittanza (verso $U=0,8 \text{ W/mqK}$) diminuisce, se pur di poco, la temperatura media ($\approx -0,2 \text{ }^\circ\text{C}$), mentre invece aumenta la temperatura massima con l'aumento della trasmittanza abbinato ad un basso valore della massa (Pacchetti 1, 4 e 6)

- Diminuendo la trasmittanza (verso $U=0,2 \text{ W/mqK}$) si ottiene l'effetto contrario.

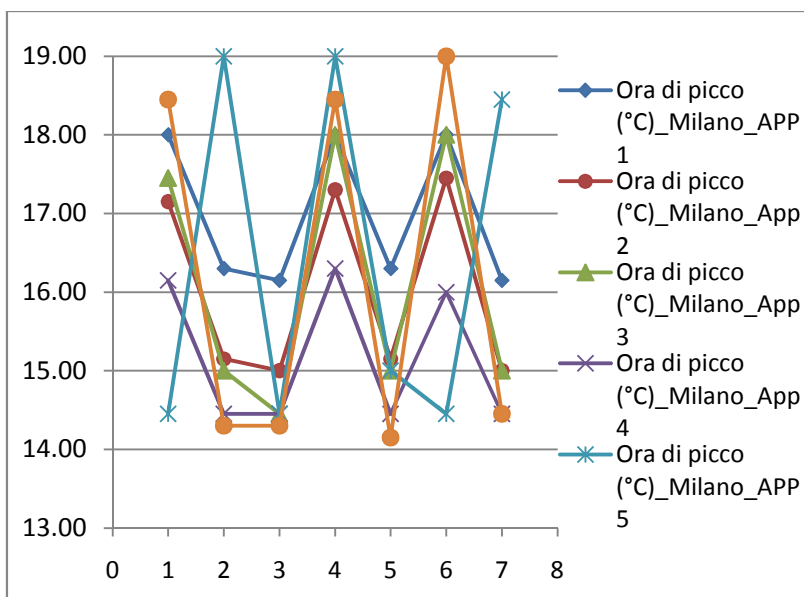


Graf. 5.1.8: Escursione termica (Milano).

Analizzando l'**escursione termica** (Vedi Graf.5.1.8) si nota che:

- il pacchetto 4 presenta un range di escursione molto alto ($\approx 3,2-5,6 \text{ }^\circ\text{C}$)
- i pacchetti 1 e 6 presentano un range di escursione medio ($\approx 2,2-3,6 \text{ }^\circ\text{C}$)

- i pacchetti 2, 3, 5 e 7 presentano un range di escursione basso ($\approx 1,4-3,0 \text{ }^\circ\text{C}$)



Graf. 5.1.9: Ora di picco (Milano).

Analizzando l'**orario di picco** (Vedi Graf.5.1.9) si nota che:

- i pacchetti 1,4 e 6 presentano l'ora di picco in tardo pomeriggio ($\approx 16:00-19:00$)

- i pacchetti 2, 3, 5 e 7 presentano l'ora di picco nel primo pomeriggio ($\approx 14:00-16:00$)

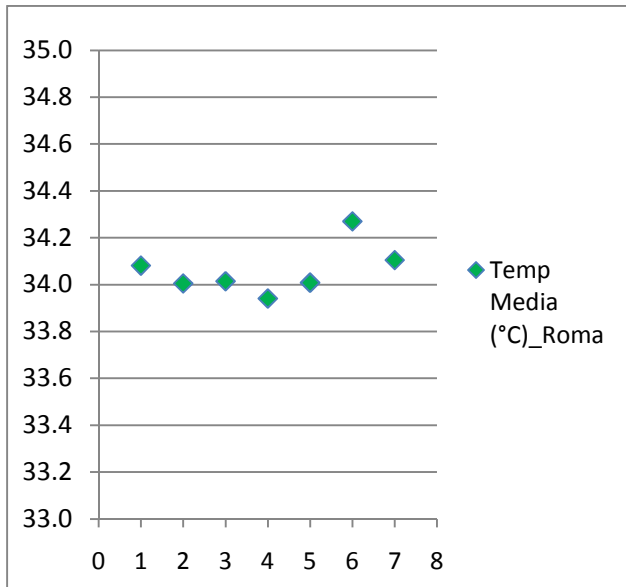
In conclusione, nel contesto milanese, la soluzione che la simulazione ha dimostrato avere prestazioni peggiori è l'abbinamento tra alta trasmittanza e bassa massività, quindi il pacchetto 4, che presenta altissime temperature massime ed ampia escursione termica.

Un'altra osservazione importante è che la diminuzione della massa, quindi i pacchetti 1, 4 e 6, porta la diminuzione delle temperature medie, ma per ottenere la diminuzione delle temperature massime risulta efficace l'abbinamento tra alta trasmittanza e alta massività, qualità presenti nei pacchetti 3 e 2.

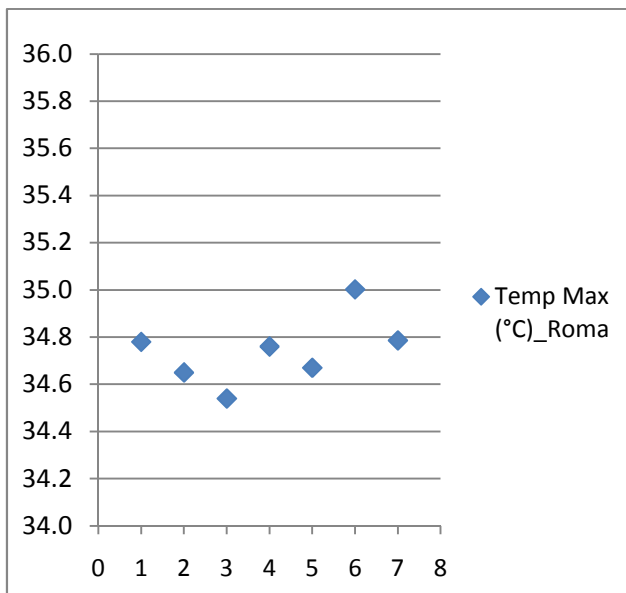
Buone prestazioni vengono registrate anche per la soluzione che abbina la bassa trasmittanza e una indifferente massività, ovvero i pacchetti 1, 5, 6 e 7.

È possibile dunque definire che l'azione della massività risulta positiva se diminuita per l'abbassamento delle temperature medie, mentre per l'abbassamento delle temperature massime risulta positiva solo se abbinata ad una bassa trasmittanza.

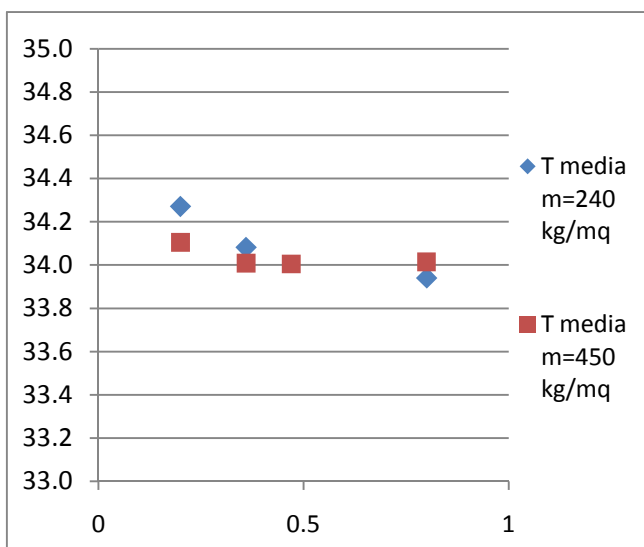
Per il contesto milanese, il pacchetto che comunque assicura prestazioni migliori, quindi buoni risultati per tutti i parametri analizzati, è il pacchetto 6, che presenta l'abbinamento di bassa trasmittanza e bassa massività.



Graf. 5.1.10 : Temperatura media (Roma).



Graf. 5.1.11 : Temperatura massima (Roma).



Graf. 5.1.12 : Temperatura media in relazione alla massività e alla trasmittanza (Roma).

ROMA

Analizzando la **temperatura media** e la **temperatura massima** (Vedi Graf.5.1.10 e Graf.5.1.11) si nota che:

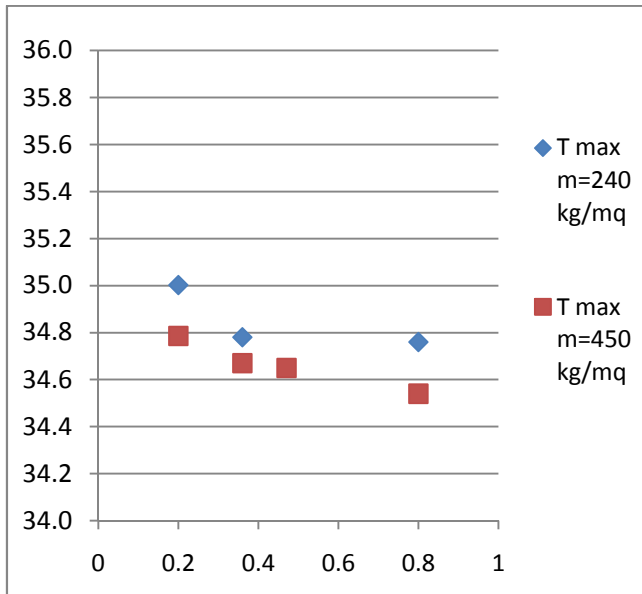
- il pacchetto 6 presenta temperature leggermente più alte (Temp media $\approx 34,3$ °C e Temp max ≈ 35 °C)
- i pacchetti 1,2,3,4,5 e 7 presentano valori bassi molto vicini (Temp media ≈ 34 - $34,1$ °C e Temp max $\approx 34,6$ - $34,8$ °C)

Analizzando la **massa** (Vedi Graf.5.1.12 - 5.1.13) si nota che:

- aumentando la massa (pacchetti 2, 3, 5 e 7) si ottiene un leggero abbassamento delle temperature medie e delle temperature massime ($\approx -0,1/0,2$ °C), rispetto ai pacchetti con massa minore (pacchetti 1, 4 e 6)

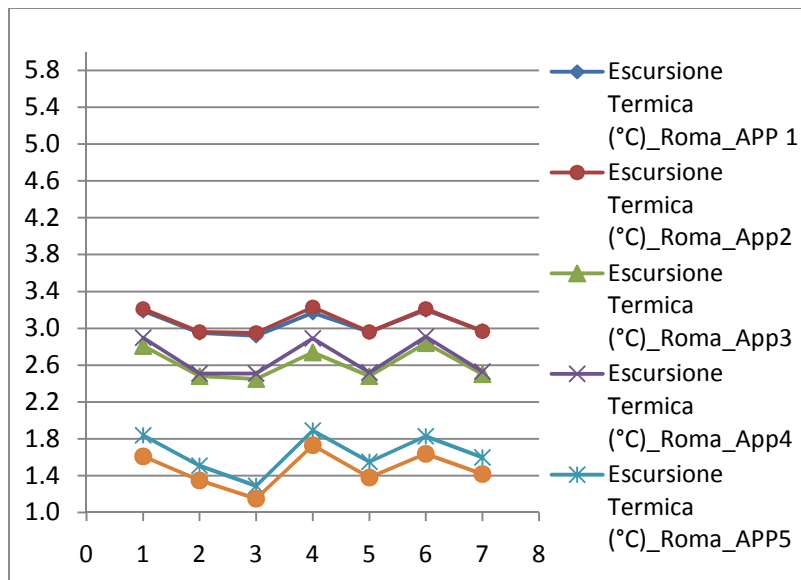
Analizzando la **trasmittanza** (Vedi Graf.5.1.12 - 5.1.13) si nota che:

- aumentando la trasmittanza (verso $U=0,8$ W/mqK) si ottiene un leggero abbassamento delle temperature medie e delle massime ($\approx -0,2/0,3$ °C)



Graf. 5.1.13: Temperatura massima in relazione alla massività e alla trasmittanza (Roma).

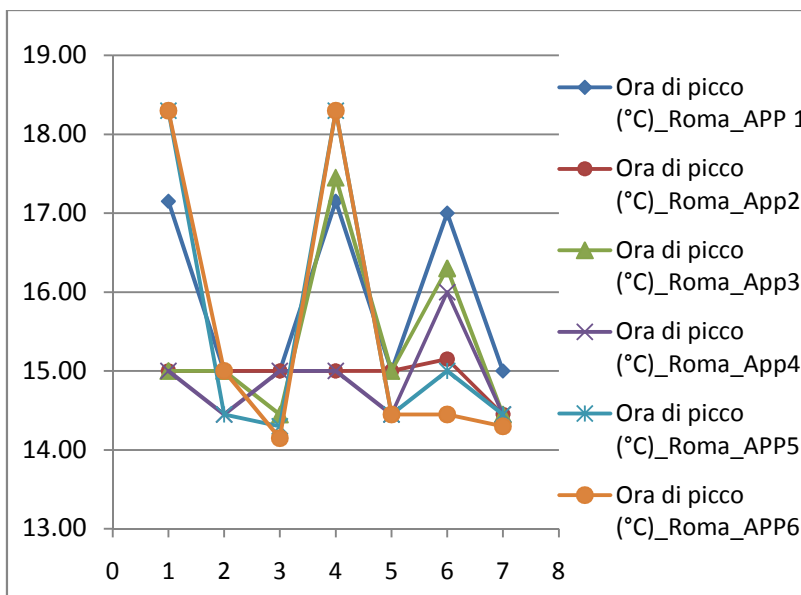
Analizzando l'**escursione termica** (Vedi Graf.5.1.14) si nota che tra i pacchetti non vi sono particolari differenze di prestazione rispetto a questo parametro.



Graf. 5.1.14: Escursione termica (Roma).

Analizzando l'**orario di picco** (Vedi Graf.5.1.15) si nota che:

- i pacchetti 1, 4 e 6 presentano l'ora di picco per i diversi appartamenti distribuita lungo il periodo pomeridiano (\approx 15:00-18:00)
- i pacchetti 2, 3, 5 e 7 presentano l'ora di picco concentrata nel primo pomeriggio per tutti gli appartamenti (\approx 14:00-15:00)



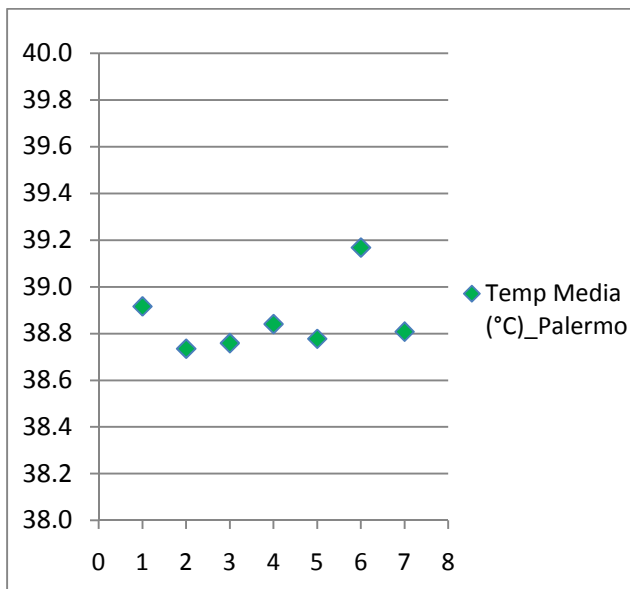
Graf. 5.1.15: Ora di picco (Roma).

Nel caso di Roma, la simulazione definisce come soluzione che presenta prestazioni peggiori, sia a livello di temperatura media che di temperatura massima, l'abbinamento tra bassa trasmittanza e bassa massività, quindi il pacchetto 6, al contrario del caso milanese.

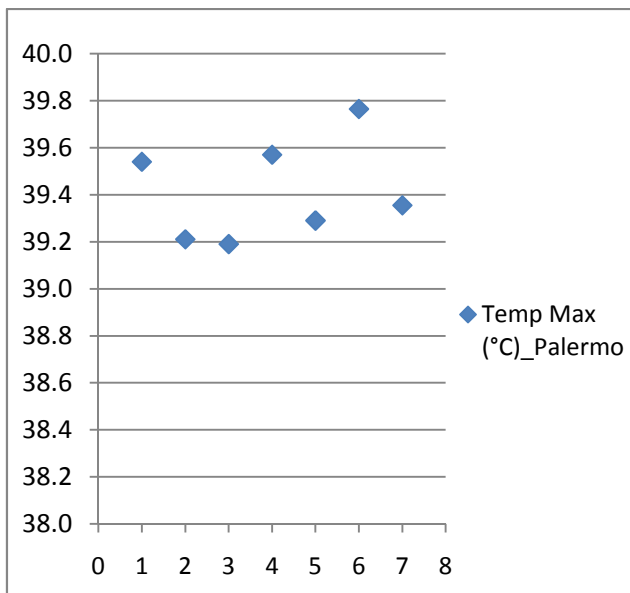
Anche i pacchetti 1 e 7 presentano scarse prestazioni, dovute dunque alla bassa trasmittanza, qualità che in questo contesto non risulta positiva.

Il pacchetto 4 invece, pur riscontrando una buona prestazione a livello di temperatura media, presenta valori alti nell'escursione termica e quindi risulta avere prestazioni un po' più basse rispetto quelle degli altri pacchetti.

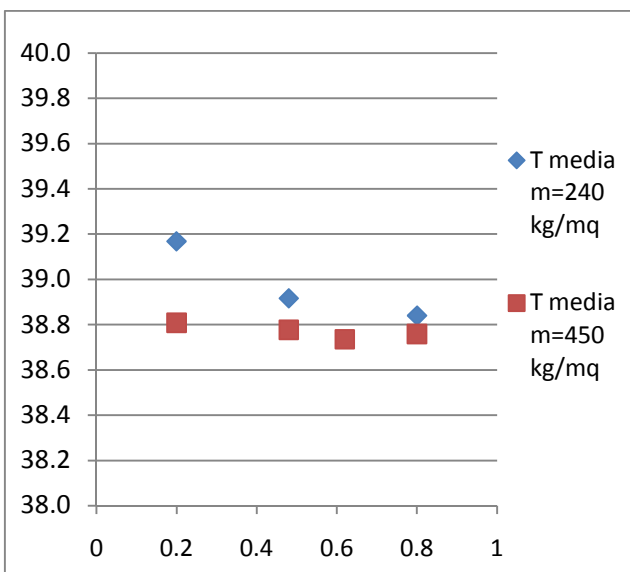
Rispetto al caso milanese le differenze di prestazioni tra pacchetti sono più lievi, ma comunque è possibile delineare che i parametri che portano, anche se leggero, un miglioramento delle prestazioni, è l'abbinamento tra alta massività e alta trasmittanza, qualità racchiuse nei pacchetti 2, 3 e 5.



Graf. 5.1.16: Temperatura media (Palermo).



Graf. 5.1.17: Temperatura massima (Palermo).



Graf. 5.1.18: Temperatura media in relazione alla massività e alla trasmittanza (Palermo).

PALERMO

Analizzando la **temperatura media** (Vedi Graf.5.1.16) si nota che:

- il pacchetto 6 è l'unico a presentare una differenza più accentuata con temperature più alte ($\approx 39,2$ °C) rispetto agli altri pacchetti

- i pacchetti 1, 2, 3, 4, 5 e 7 invece presentano temperature leggermente più basse ($\approx 38,7-38,9$ °C), senza presentare differenze sostanziose tra loro

Analizzando la **temperatura massima** (Vedi Graf.5.1.17) si nota che:

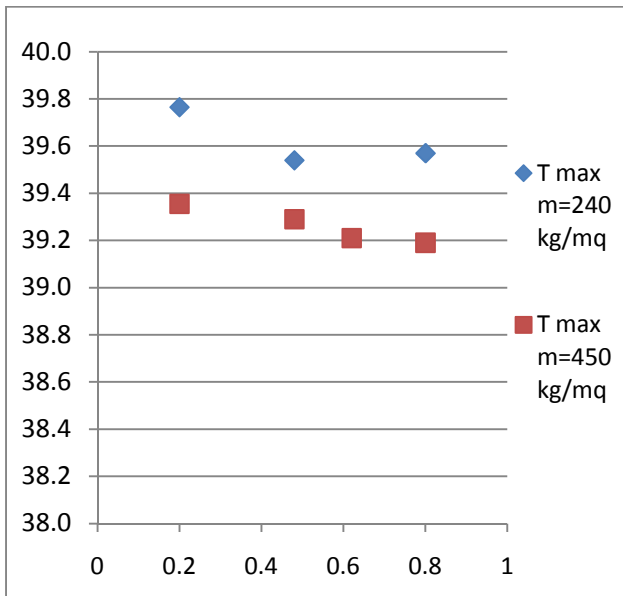
- i pacchetti 1, 4, 6 presentano temperature leggermente più alte ($\approx 39,5-39,9$ °C)

- Pacchetti 2, 3, 5 e 7 presentano temperature di poco più basse ($\approx 39,2-39,3$ °C) rispetto agli altri pacchetti, ma comunque elevate

Analizzando la **massa** (Vedi Graf.5.1.18 - 5.1.19) si nota che:

- con la diminuzione della trasmittanza, l'aumento della massa apporta la diminuzione della temperatura media

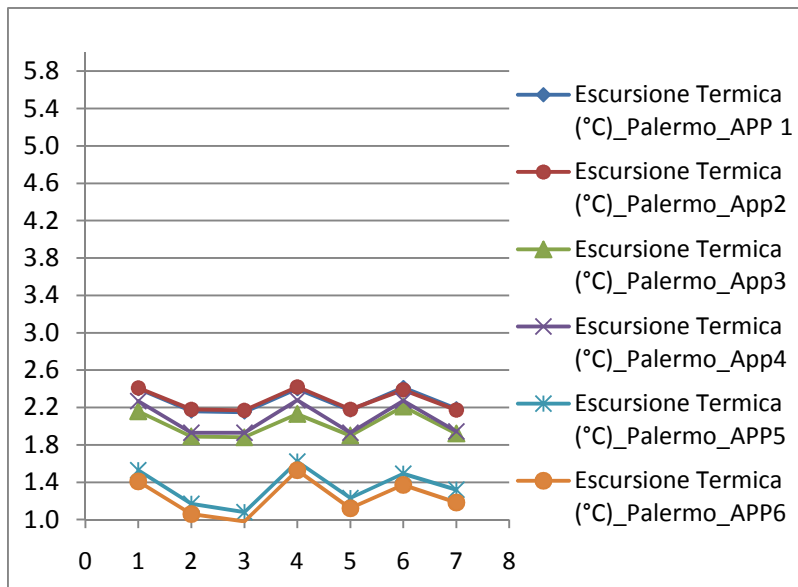
- l'aumento della massa (pacchetti 2, 3, 5 e 7) tende dunque a diminuire anche le temperature massime ($\approx -0,4$ °C)



Analizzando la **trasmittanza** (Vedi Graf.5.1.18 - 5.1.19) si nota che:

- aumentando la trasmittanza (verso $U=0,8 \text{ W/mqK}$) si ottiene un leggero abbassamento delle temperature medie e delle temperature massime ($\approx -0,2/0,3 \text{ } ^\circ\text{C}$)

Graf. 5.1.19 : Temperatura massima in relazione alla massività e alla trasmittanza (Palermo).

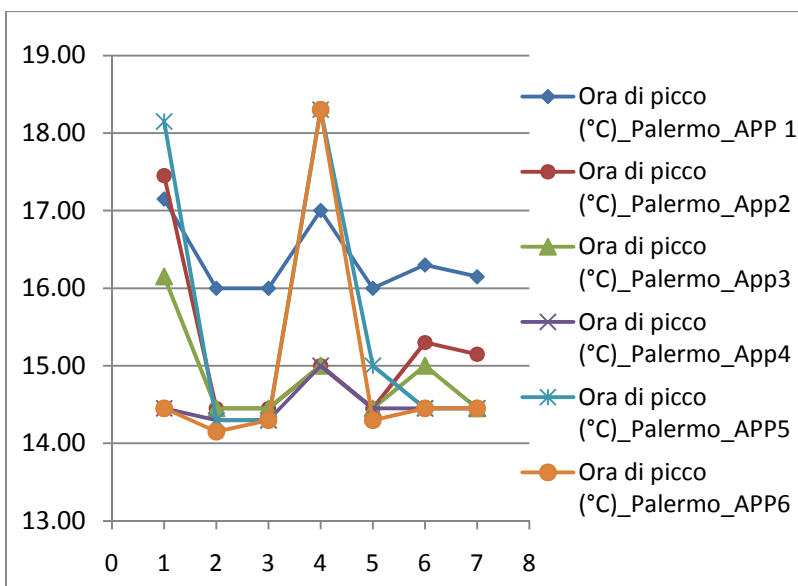


Analizzando l'**escursione termica** (Vedi Graf.5.1.20) si nota che tra i pacchetti non vi sono particolari differenze di prestazione rispetto a questo parametro.

Analizzando l'**orario di picco** (Vedi Graf.5.1.21) si nota che:

- i pacchetti 1, 4 e 6 presentano l'ora di picco per i diversi appartamenti distribuita lungo il periodo pomeridiano ($\approx 15:00-18:00$)

Graf. 5.1.20 : Escursione termica (Palermo).



- i pacchetti 2, 3, 5 e 7 presentano l'ora di picco concentrata nel primo pomeriggio per tutti gli appartamenti ($\approx 14:00-15:00$)

Graf. 5.1.21 : Ora di picco (Palermo).

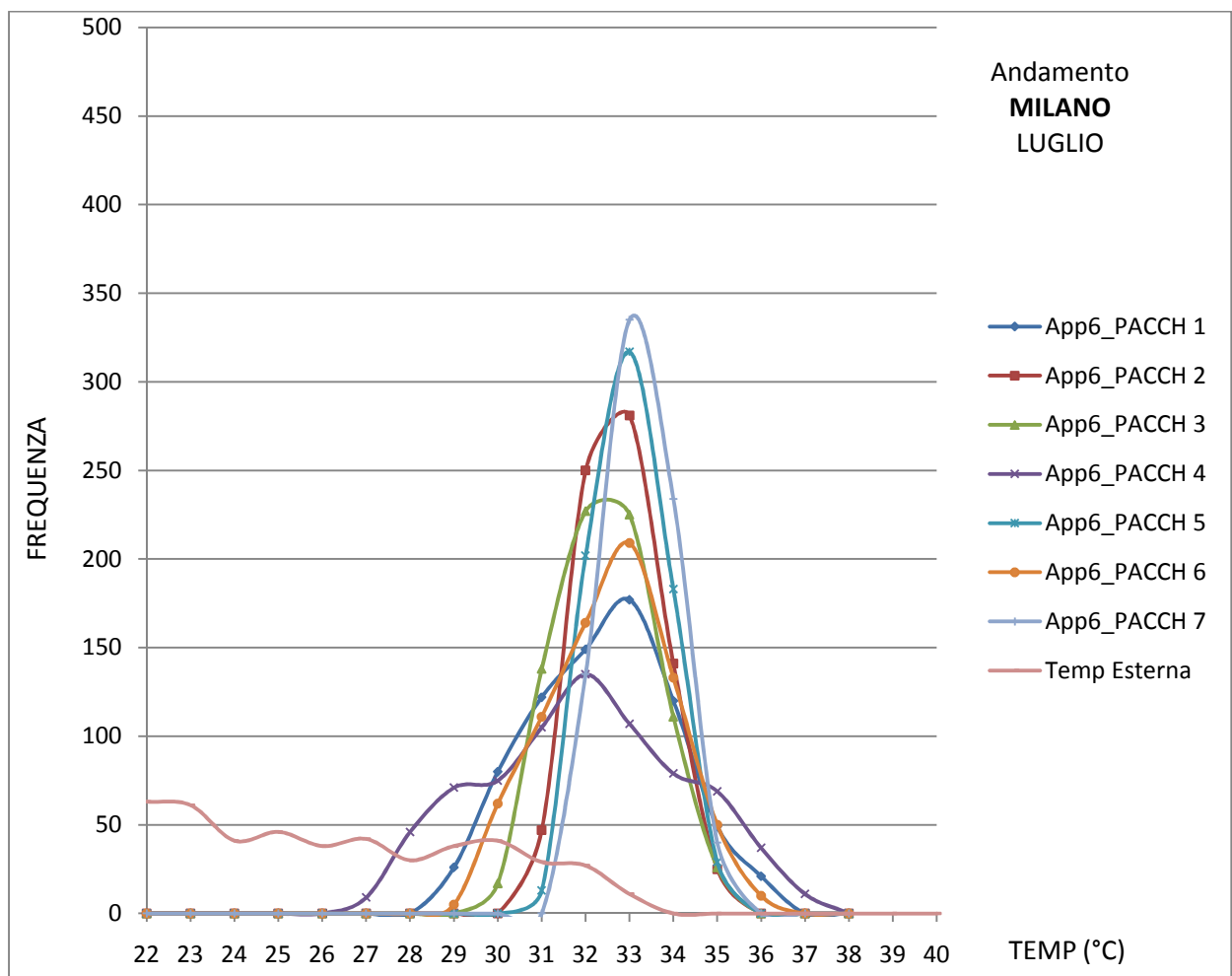
Come per il caso di Roma, anche la simulazione con contesto Palermo definisce come qualità migliorativa delle prestazioni l'abbinamento dell'aumento della massività e quello della trasmittanza, quindi il pacchetto 3 seguito dal pacchetto 2, molti simili a livello prestazionale.

Il pacchetto che invece riporta le prestazioni peggiori è il pacchetto 6, e quindi come già descritto per la simulazione con contesto a Roma, la bassa trasmittanza abbinata alla bassa massività riportano influenze peggiorative sulle prestazioni del pacchetto.

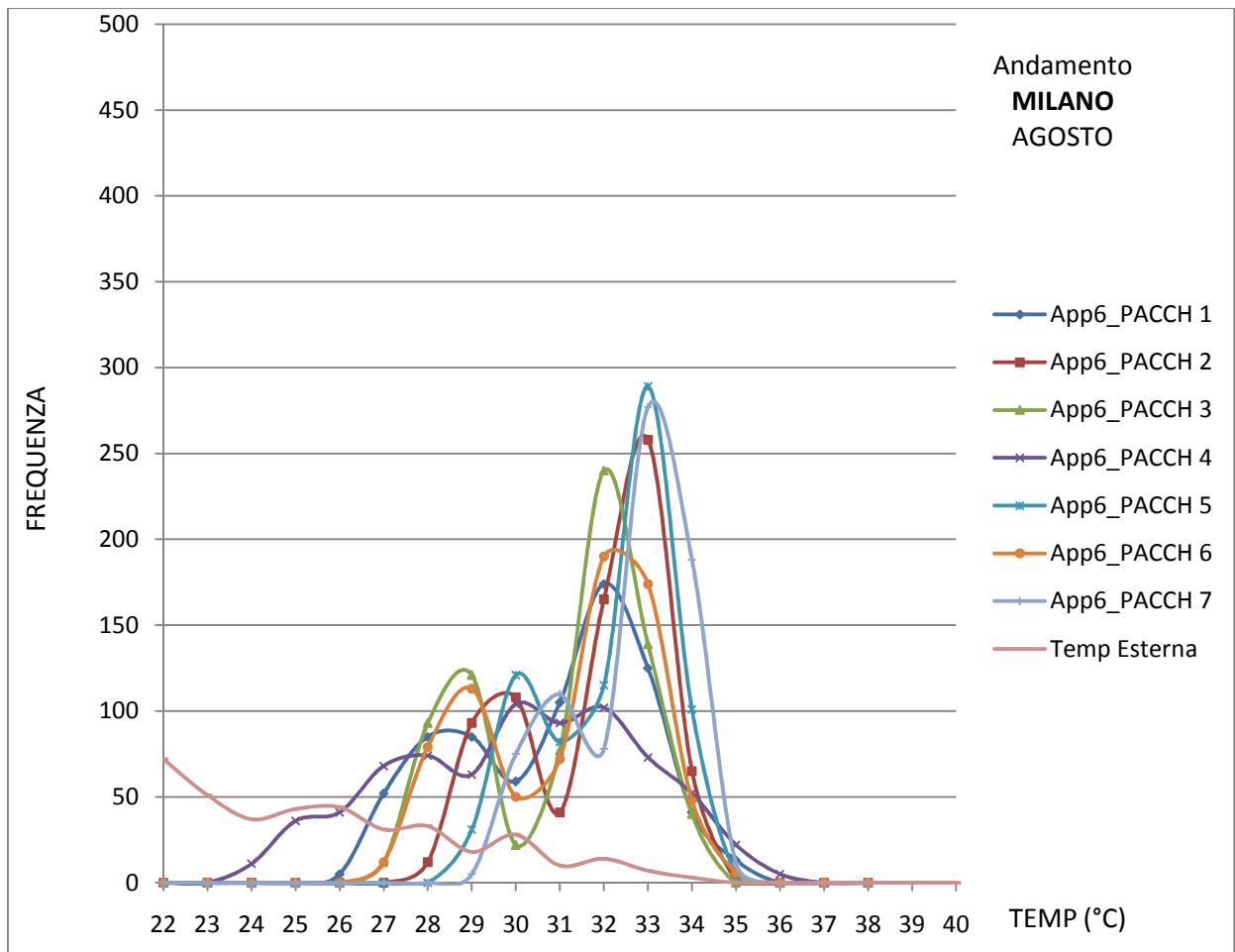
Fino ad ora sono dunque stati definiti i risultati ottenuti dalla prima tipologia di simulazione nella condizione di evoluzione libera, cioè il caso del Design Day.

La seconda tipologia sviluppata nella condizione di evoluzione libera è, come già introdotta, la simulazione annuale, attraverso cui vengono confrontati i parametri di: frequenza delle temperature interne registrate nell'arco di un mese, temperature interne medie mensili e "deviazioni standard pop", ovvero la misura che indica quanto i valori si discostano dal valore medio. Tali parametri vengono confrontati anche con la frequenza delle temperature eterne.

È stata realizzata una rielaborazione dei risultati ottenuti in cui sono stati presi in considerazione solo i mesi più caldi dell'anno, Luglio e Agosto, e la zona climatica che presenta condizioni interne più critiche per quanto riguarda il periodo estivo, l'appartamento 6.



Graf. 5.1.22 : Frequenza delle temperature nel mese di Luglio (Milano).



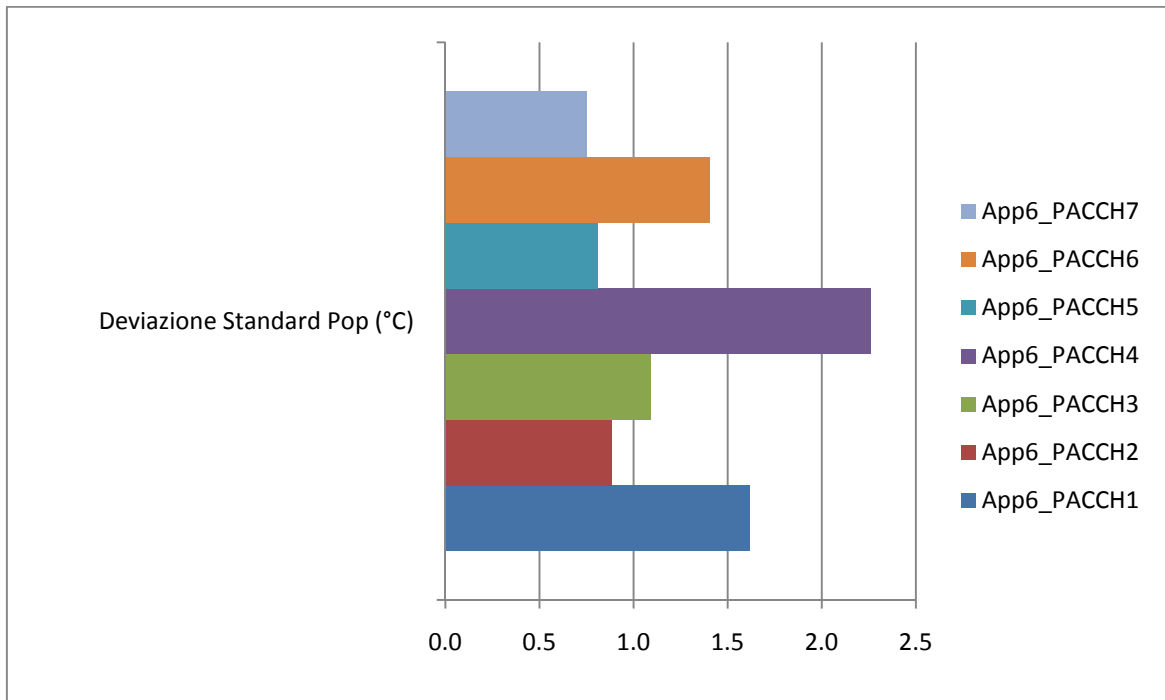
Graf. 5.1.23: Frequenza delle temperature nel mese di Agosto (Milano).

MILANO

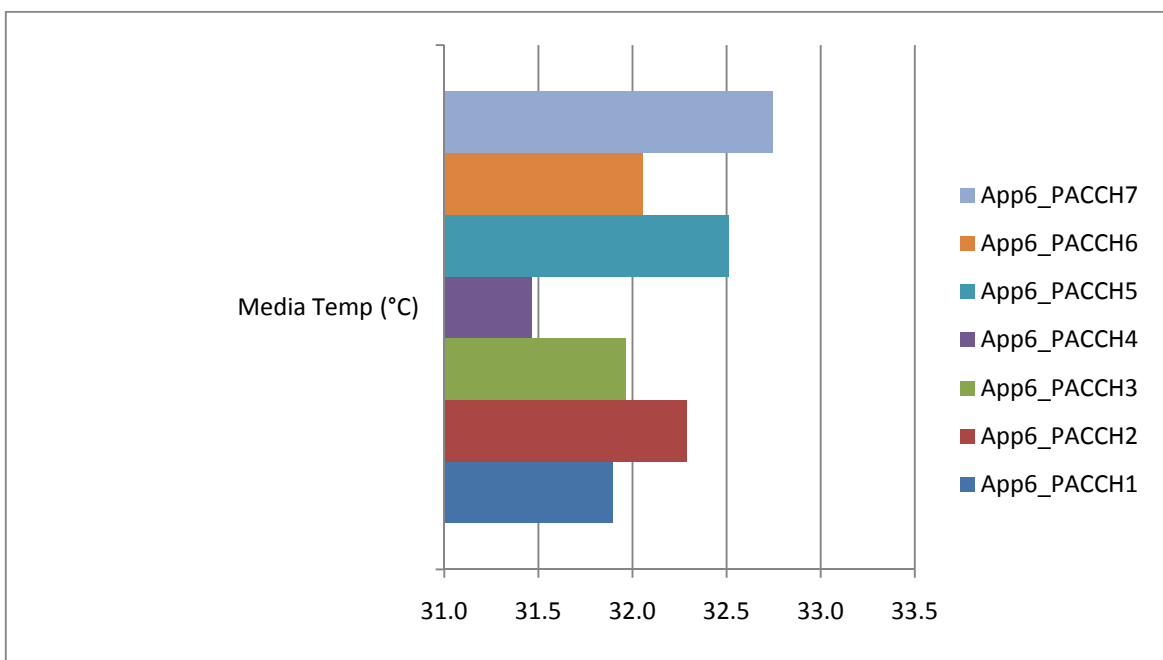
Analizzando la frequenza delle temperature nel caso di Milano, all'interno di una simulazione annuale, per i mesi di Luglio e Agosto (Vedi Graf.5.1.22 - 5.1.23 - 5.1.26) si possono delineare due differenti gruppi di andature:

- i pacchetti 2, 3, 5, 6 e 7 che presentano andamenti più o meno simili fra loro, con un principale picco di frequenza che varia tra i 32°C e i 34°C, e un range di temperature con maggior frequenza contenuto;
- i pacchetti 1 e 4, che non sono caratterizzati da una bassa massività, presentano invece una curva di andamento della frequenza di temperature più ampia, senza dunque

presentare particolari picchi su determinate temperature, ed evidenziando un range di temperature con maggior frequenza molto più ampio. Nel grafico che rappresenta gli andamenti registrati nel mese di Agosto è molto più evidente la differenza che presenta la curva del pacchetto 4 rispetto agli altri.



Graf. 5.1.24 : Deviazione Standard Pop (Milano).

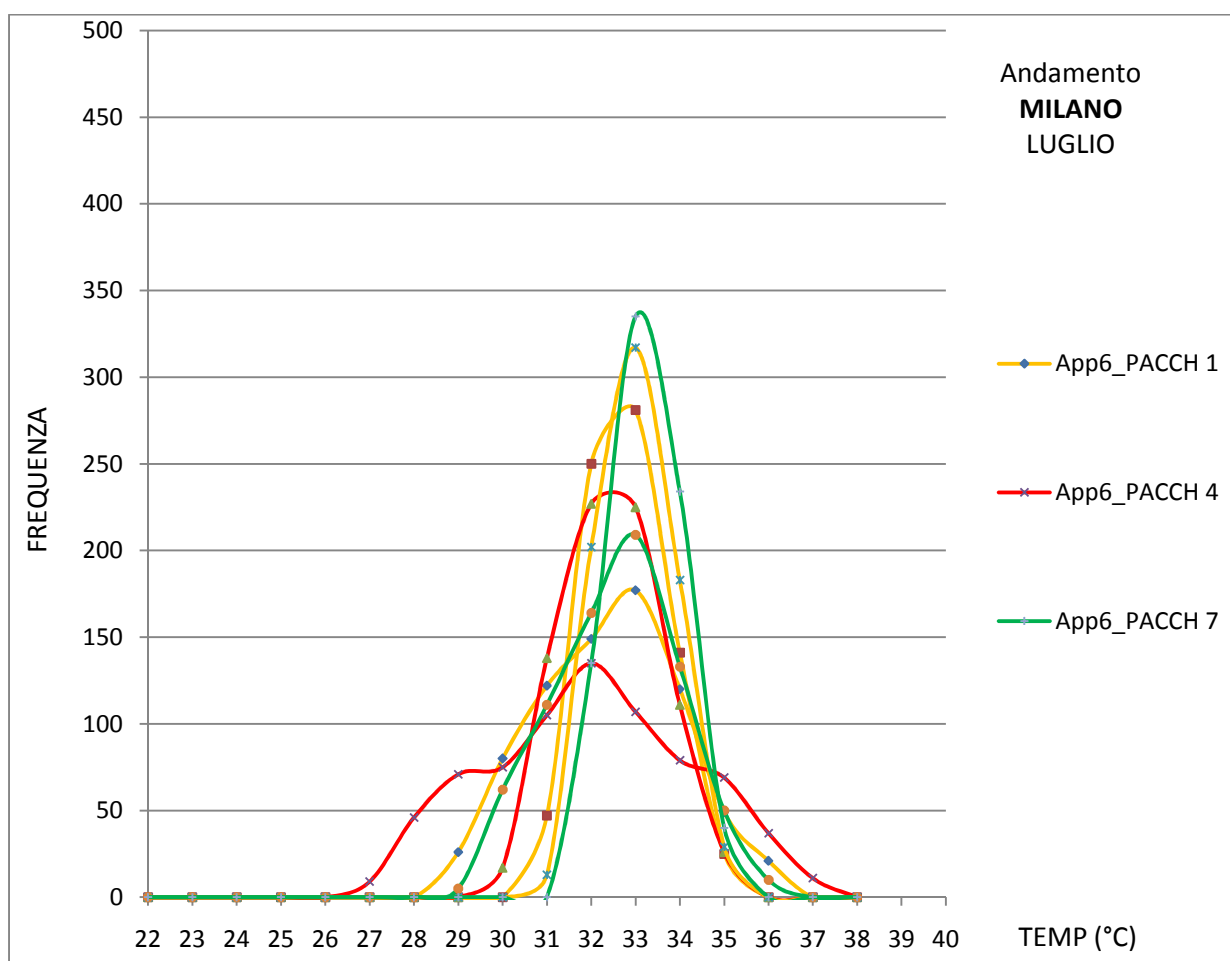


Graf. 5.1.25 : Temperature medie mensili (Milano).

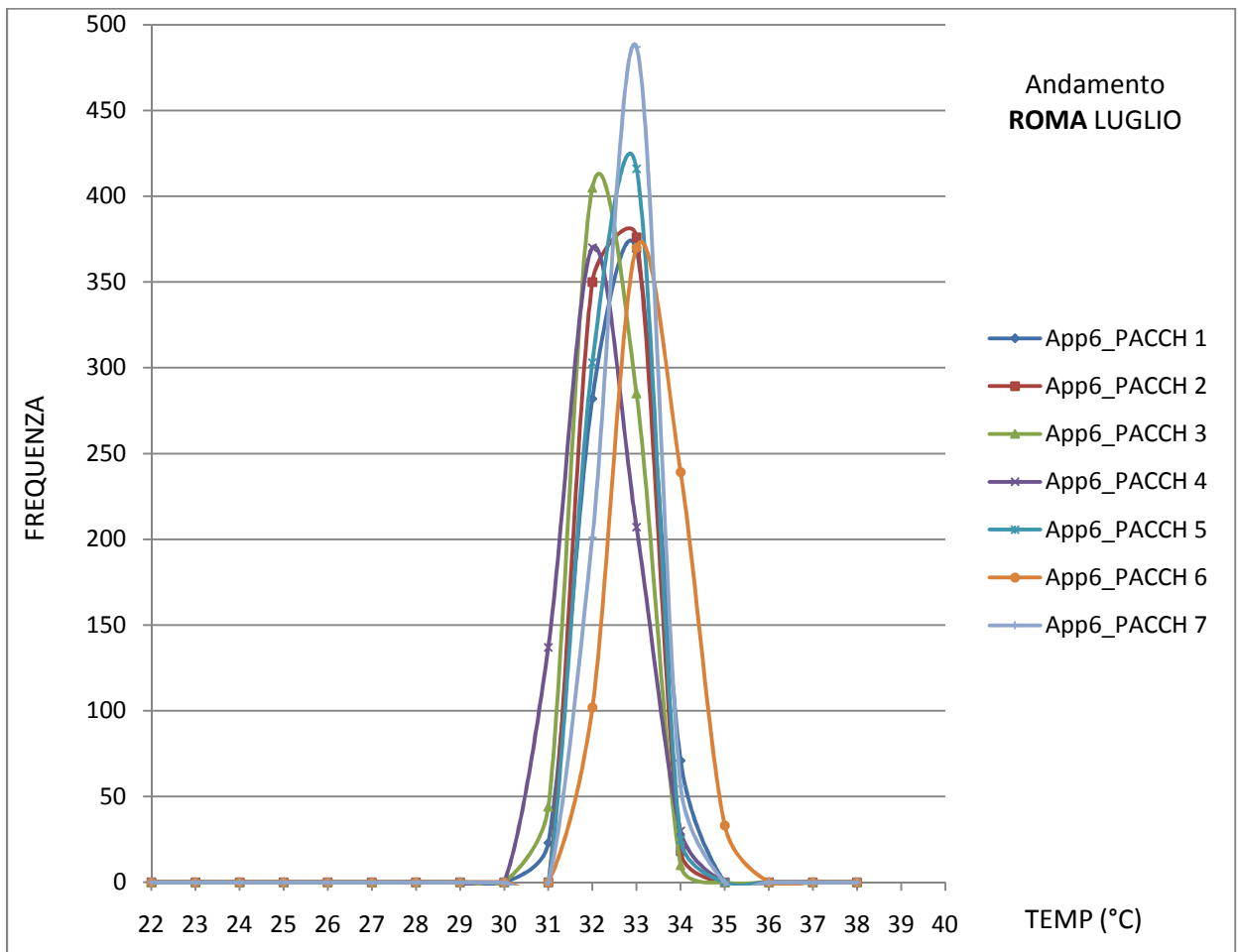
Il parametro che influenza maggiormente l'andamento della frequenza delle temperature risulta essere la massività, mentre la trasmittanza non apporta particolari influenze (Vedi Graf.5.1.26).

Per quanto riguarda le temperature medie mensili (Vedi Graf.5.1.25) non sono presenti grosse differenze; i pacchetti 4, 1 e 6, soluzioni che hanno come qualità in comune la bassa massività, presentano prestazioni leggermente migliori, mentre i pacchetti 5 e 7, caratterizzati dall'abbinamento di maggiorazione della massività e ridotta trasmittanza, presentano temperature medie mensili più elevate, anche se si tratta di 0,5/1°C.

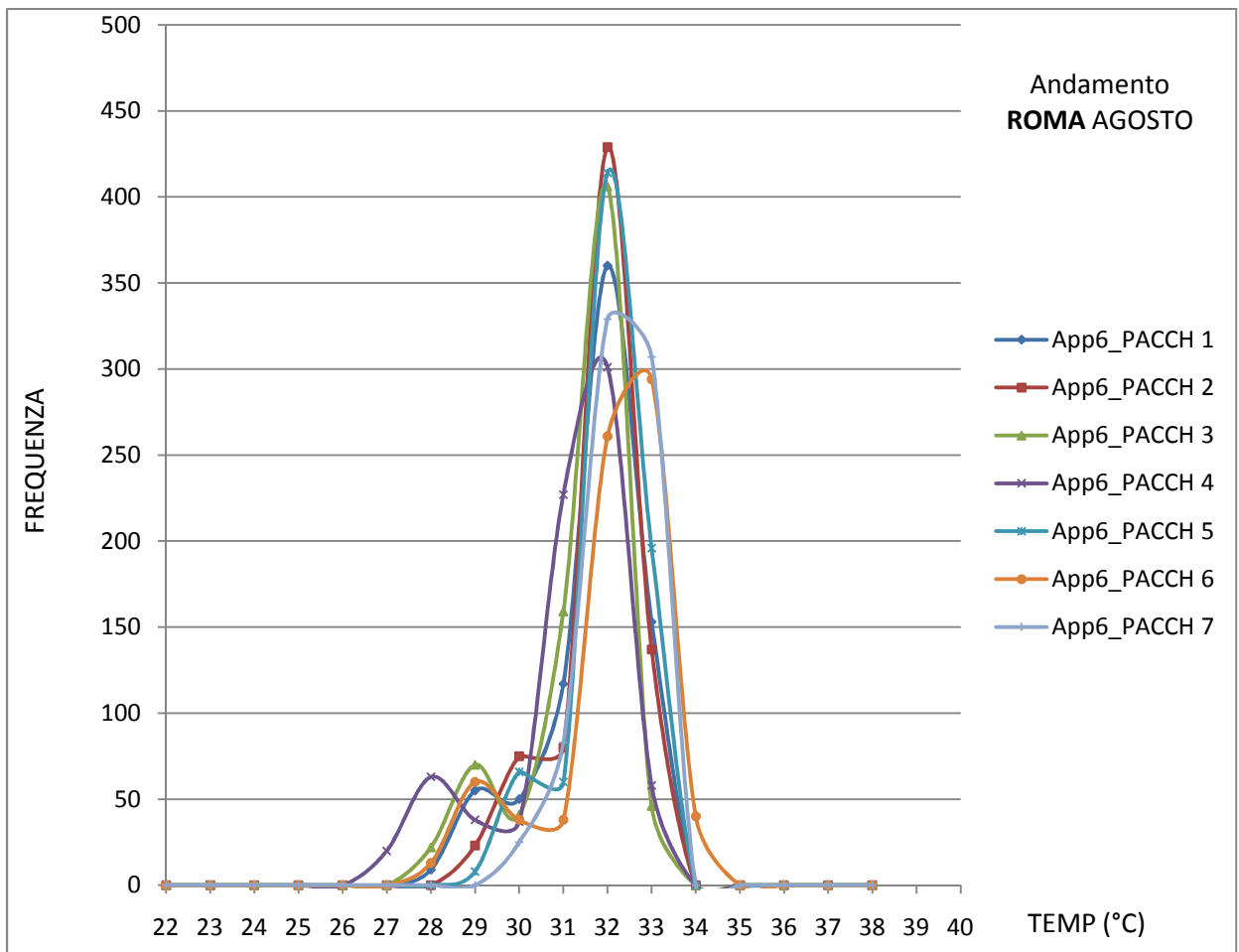
Le stesse differenze di prestazioni sono state registrate anche per la deviazione standard, ma in modo inversamente proporzionale rispetto alle temperature medie, ovvero i pacchetti che presentano temperature medie inferiori, hanno un livello maggiore di deviazione standard e viceversa.



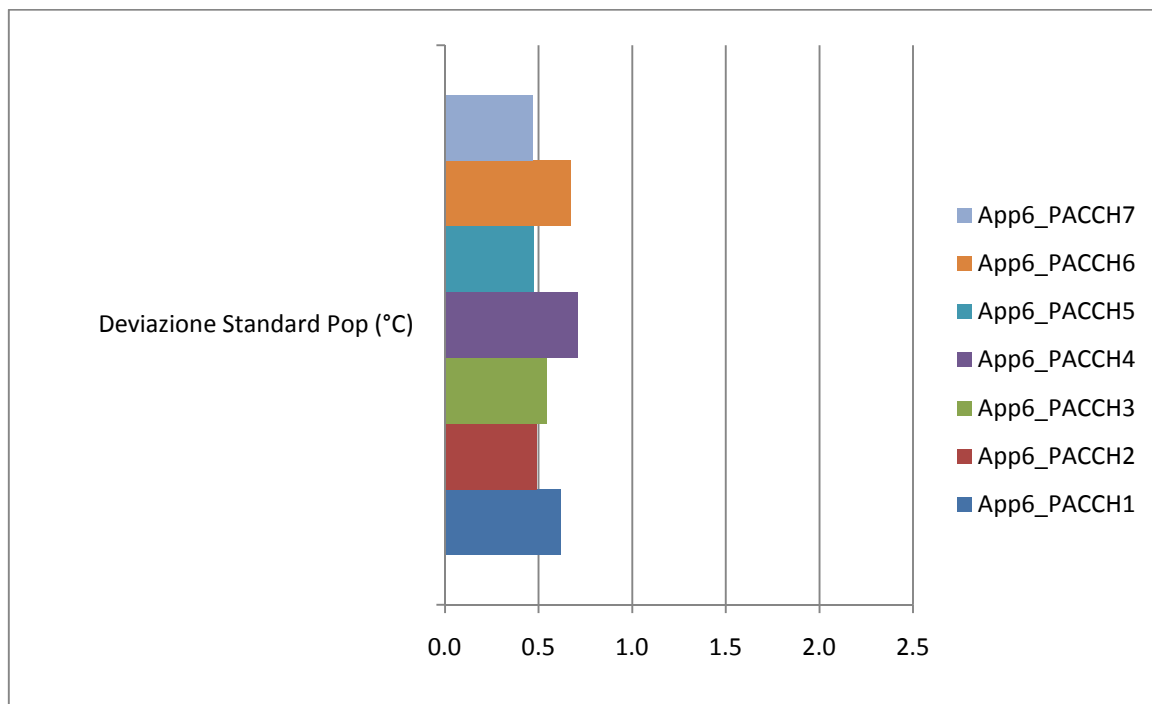
Graf. 5.1.26 : Frequenza delle temperature nel mese di Luglio suddivise per valore di trasmittanza (Milano).



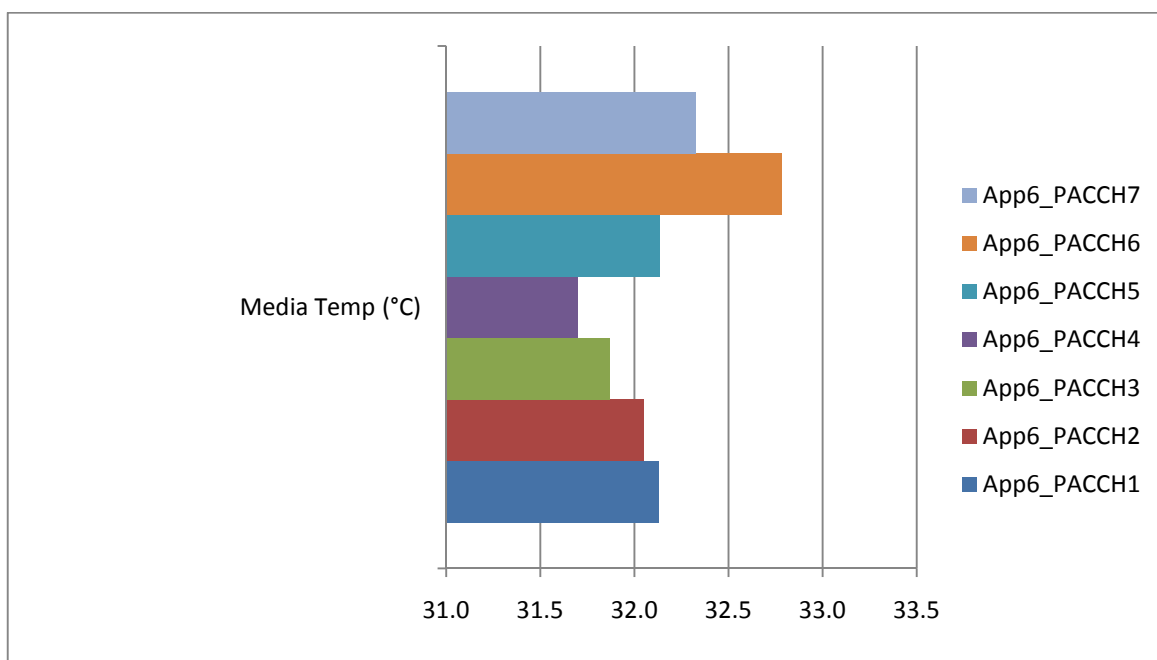
Graf. 5.1.27 : Frequenza delle temperature nel mese di Luglio (Roma).



Graf. 5.1.28 : Frequenza delle temperature nel mese di Agosto (Roma).



Graf. 5.1.29 : Deviazione Standard Pop (Roma).



Graf. 5.1.30 : Temperature medie mensili (Roma).

ROMA

Rispetto al contesto milanese, la differenza di prestazioni tra i pacchetti è molto ridotta, poichè tutti presentano curve di picco su un range di temperature limitato, soprattutto nel mese di Luglio (Vedi Graf.5.1.29).

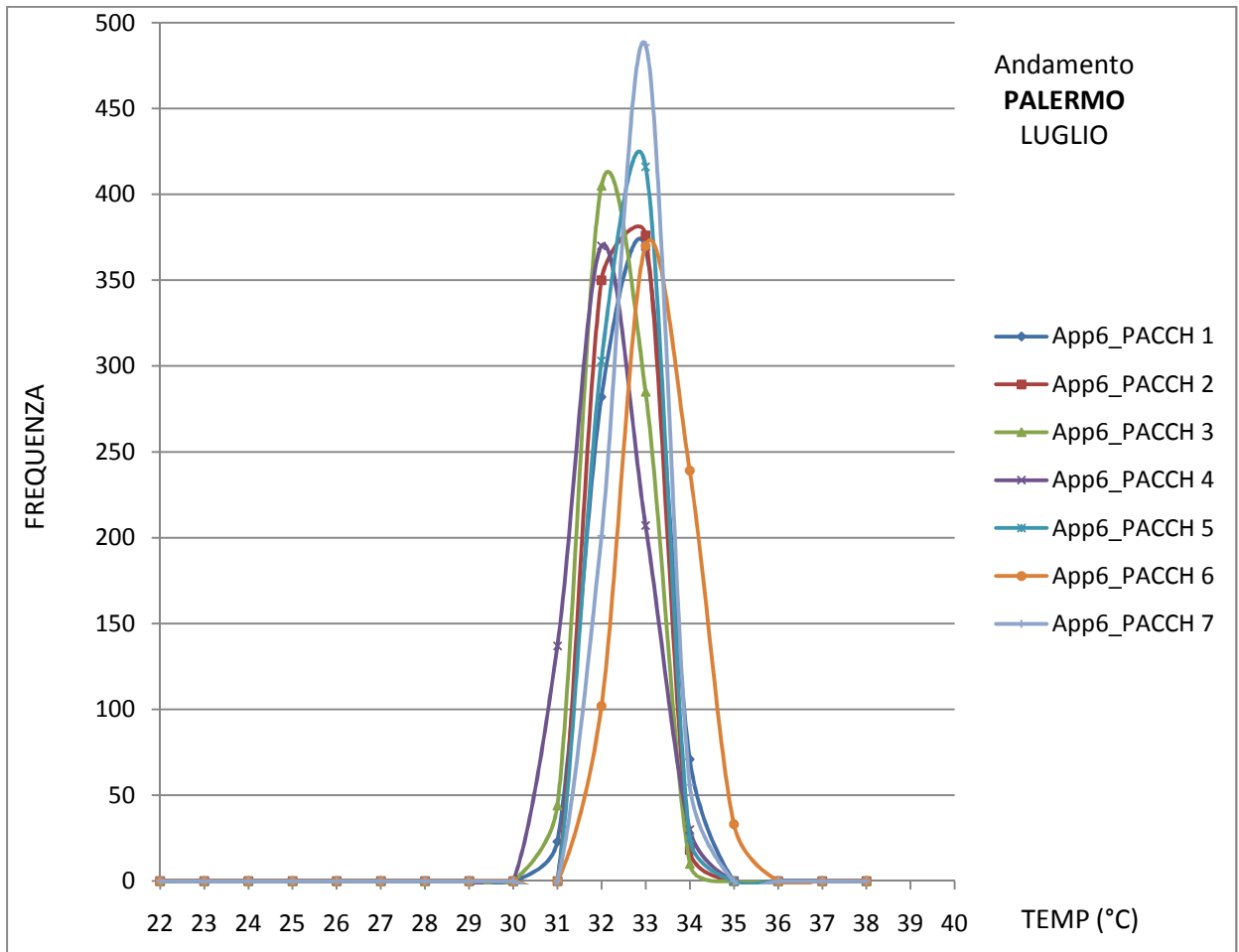
Come già riscontrato attraverso la simulazione del Design Day, il caso di Roma, al contrario di quello milanese, riscontra prestazioni migliori in soluzioni di involucro dotati di alta massività, pacchetti 2, 3 e 5 che nella simulazione annuale presentano curve con picchi maggiori ma un range di temperature con maggior frequenza più ridotto, e minori temperature massime.

Il pacchetto 4 però, soprattutto nel mese di Agosto, presenta buone prestazioni, cioè una curva leggermente più ampia e temperature massime minori. Tale differenza si riscontra anche nelle ridotte temperature medie presentate dal pacchetto. Quindi anche se questo pacchetto è definito da una bassa massività, l'abbinamento all'alta trasmittanza assicura ad esso buone prestazioni.

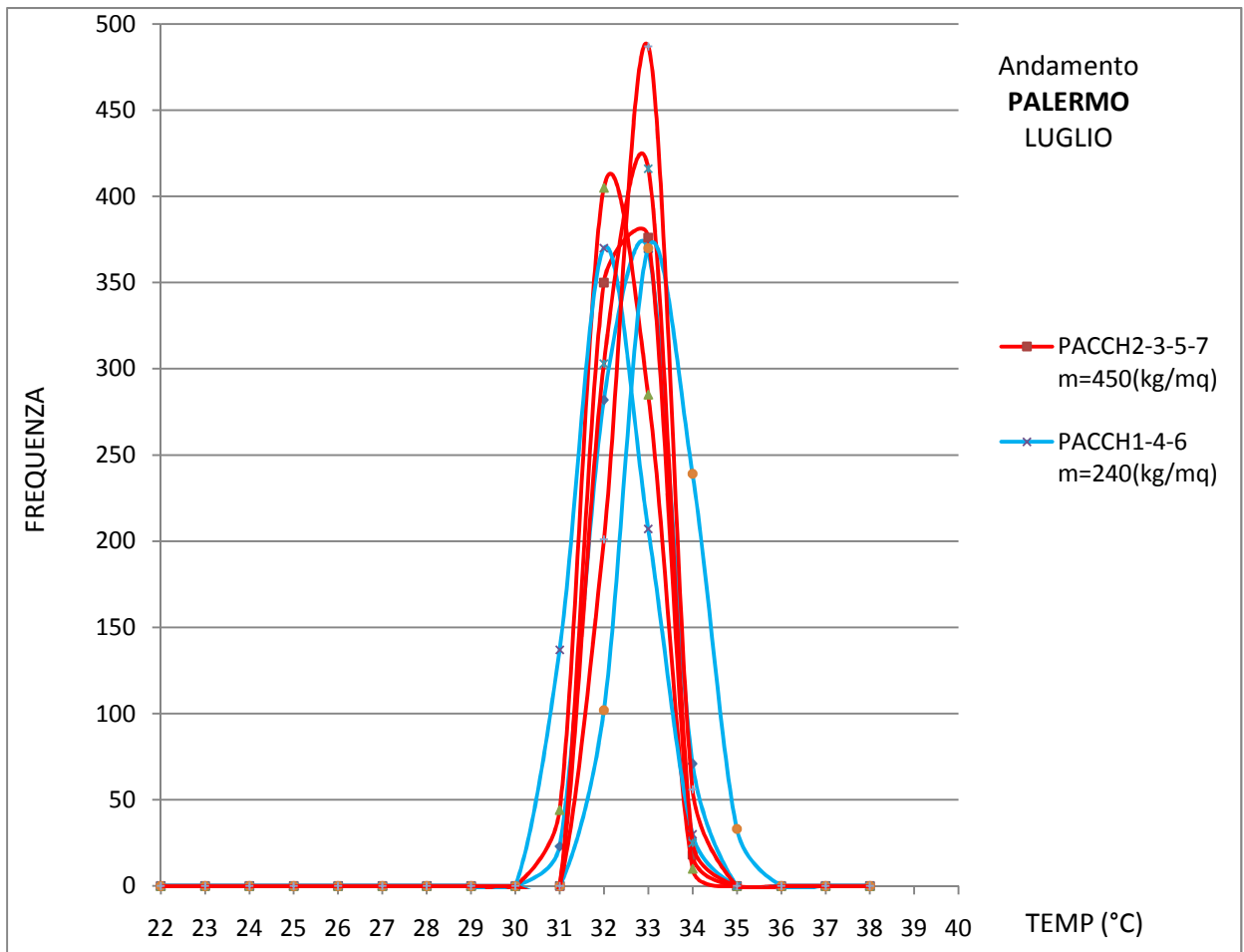
Prendendo in considerazione il parametro di deviazione standard e di temperature medie non è possibile riscontrare evidenti differenze prestazionali (Vedi Graf.5.1.29 - 5.1.30); gli unici pacchetti che si distaccano leggermente dai valori medi tra gli altri pacchetti, e che quindi presentano una deviazione standard di poco maggiore, sono il pacchetto 4, che come già detto presenta basse temperature medie, e il pacchetto 6 che presenta invece alte temperature medie.

In conclusione, tale simulazione annuale, definisce come a Roma il parametro che rende positiva la prestazione dell'involucro è l'alta massività mentre il parametro che peggiora le prestazioni, è la bassa trasmittanza, pacchetto 7, ancor peggio se abbinato alla bassa massività, pacchetto 6, come già riscontrato nella simulazione del Design Day, parametri che procurano l'aumento delle temperature massime e medie.

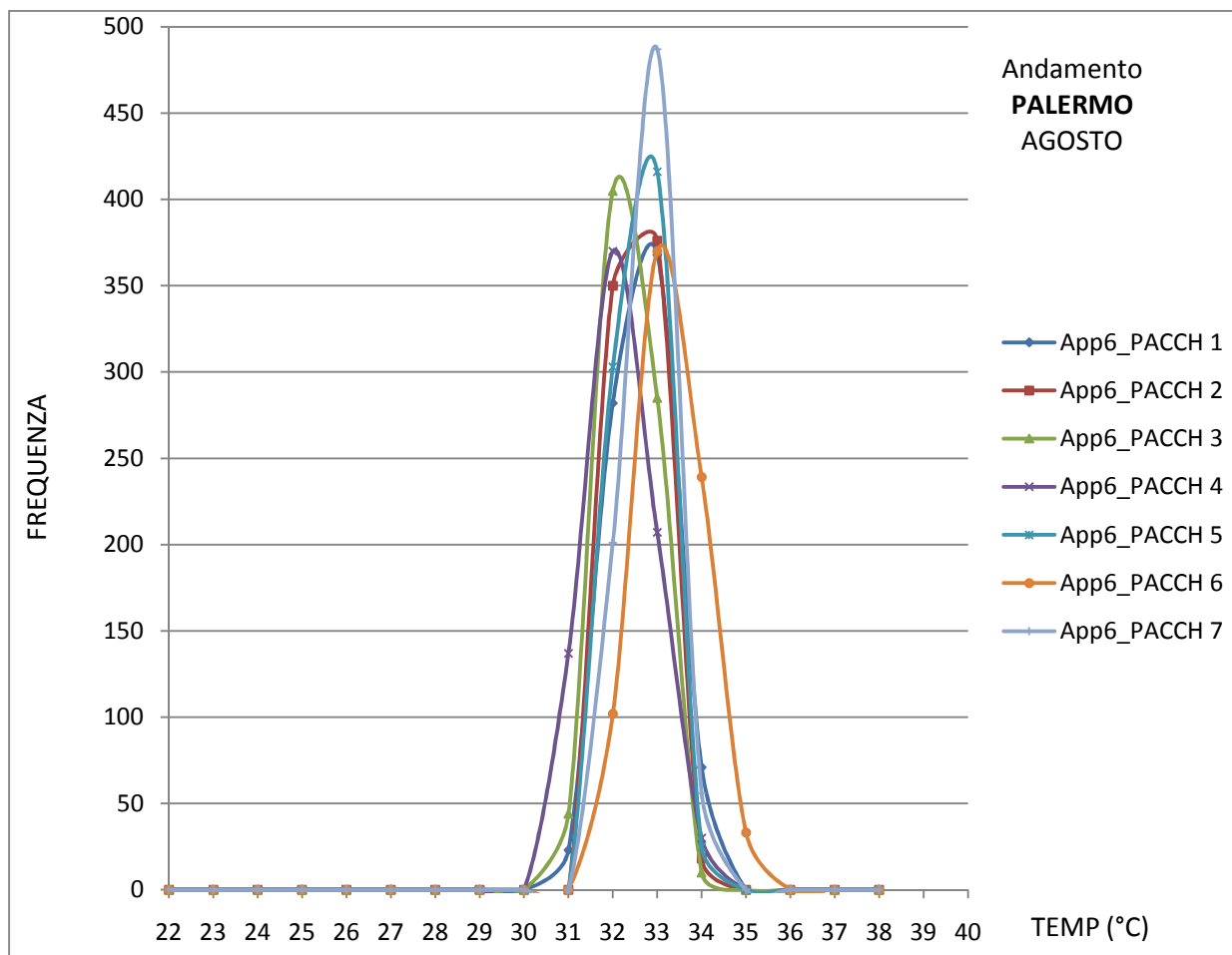
È infine interessante evidenziare come per il caso di Roma risulta un fattore di influenza anche la trasmittanza, parametro che invece per il contesto milanese non ha procurato importanti influenze.



Graf. 5.1.31 : Frequenza delle temperature nel mese di Luglio (Palermo).



Graf. 5.1.32 : Frequenza delle temperature nel mese di Luglio (Palermo).



Graf. 5.1.33 : Frequenza delle temperature nel mese di Agosto (Palermo).

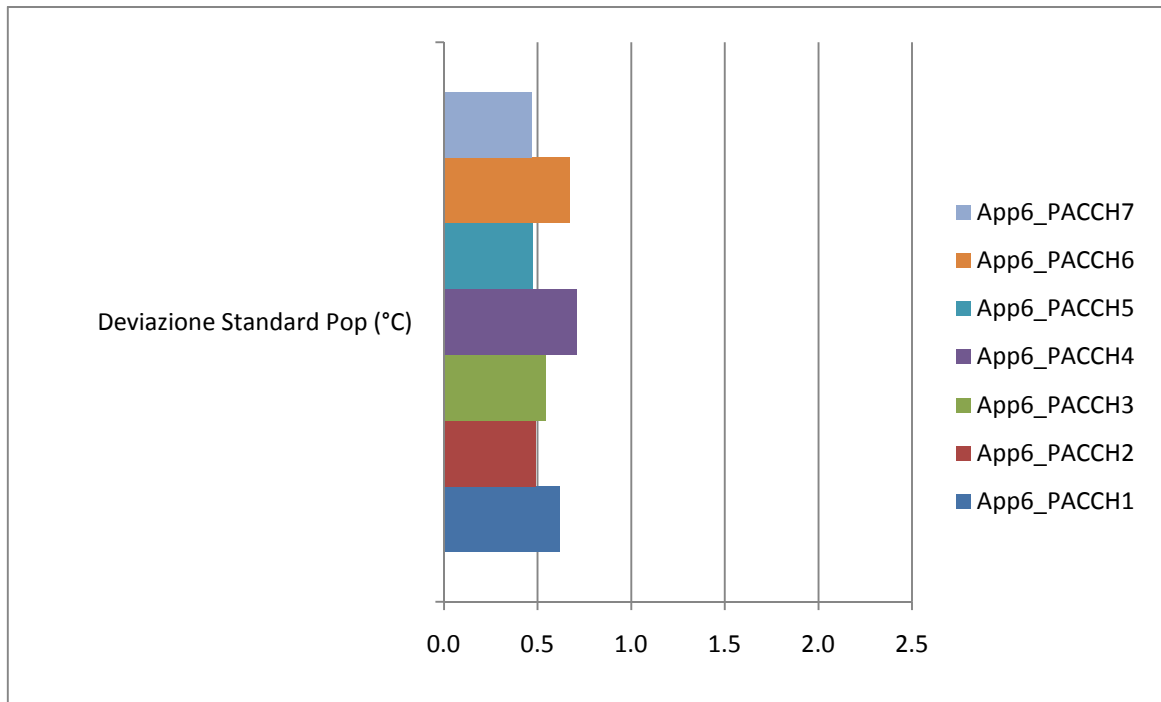
PALERMO

Anche per il caso di Palermo, simile a quello di Roma, risulta fondamentale l'influenza della massività (Vedi Graf.5.1.32) e della trasmittanza (Vedi Graf.5.1.31 - 5.1.33)

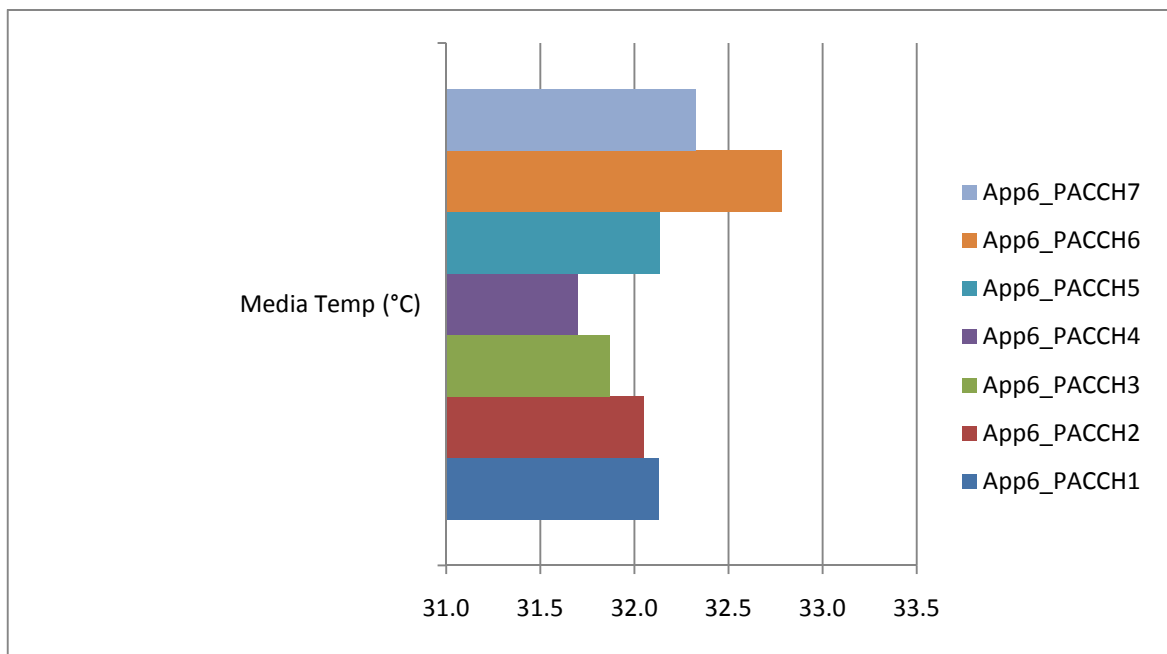
È evidente dal grafico 5.5.32 che l'alta massività dei pacchetti 2, 3, 5 e 7 condiziona l'andamento delle curve della frequenza delle temperature creando il picco e una limitata ampiezza della curva.

Il pacchetto che presenta prestazioni migliori, ovvero ridotte temperature medie (Vedi Graf.5.1.35) e massime, è il pacchetto 4, grazie alla sua alta trasmittanza abbinata a bassa massività: tale risultato si discosta da quello fornito dalla simulazione del Design Day, in cui i parametri risultati migliorativi sono l'alta massività e alta trasmittanza.

Mentre il pacchetto che presenta peggiori prestazioni risulta essere il pacchetto 6, quindi la bassa massività e bassa trasmittanza, risultato ottenuto anche dalla simulazione del Design Day.



Graf. 5.1.34 : Deviazione Standard Pop (Palermo).



Graf. 5.1.35 : Temperature medie mensili (Palermo).

5.2 CONFRONTO PRESTAZIONI DEI PACCHETTI CONSIDERANDO L'INSERIMENTO DI IMPIANTI E RELATIVO CALCOLO DEL FABBISOGNO ENERGETICO

La seconda tipologia di simulazione utilizzata è la simulazione annuale che considera l'inserimento di impianti: mentre le prime simulazioni hanno fornito informazioni sulle prestazioni dei differenti involucri proposti semplicemente influenzati dal contesto, quindi dalle condizioni esterne, e dalle qualità fisiche e termo fisiche dei pacchetti, questa simulazione ha fornito informazioni sul comportamento prestazionale degli involucri confrontando i livelli di fabbisogno energetico ottenuti per il mantenimento delle condizioni termiche richieste (*Vedi Par.4.4*).

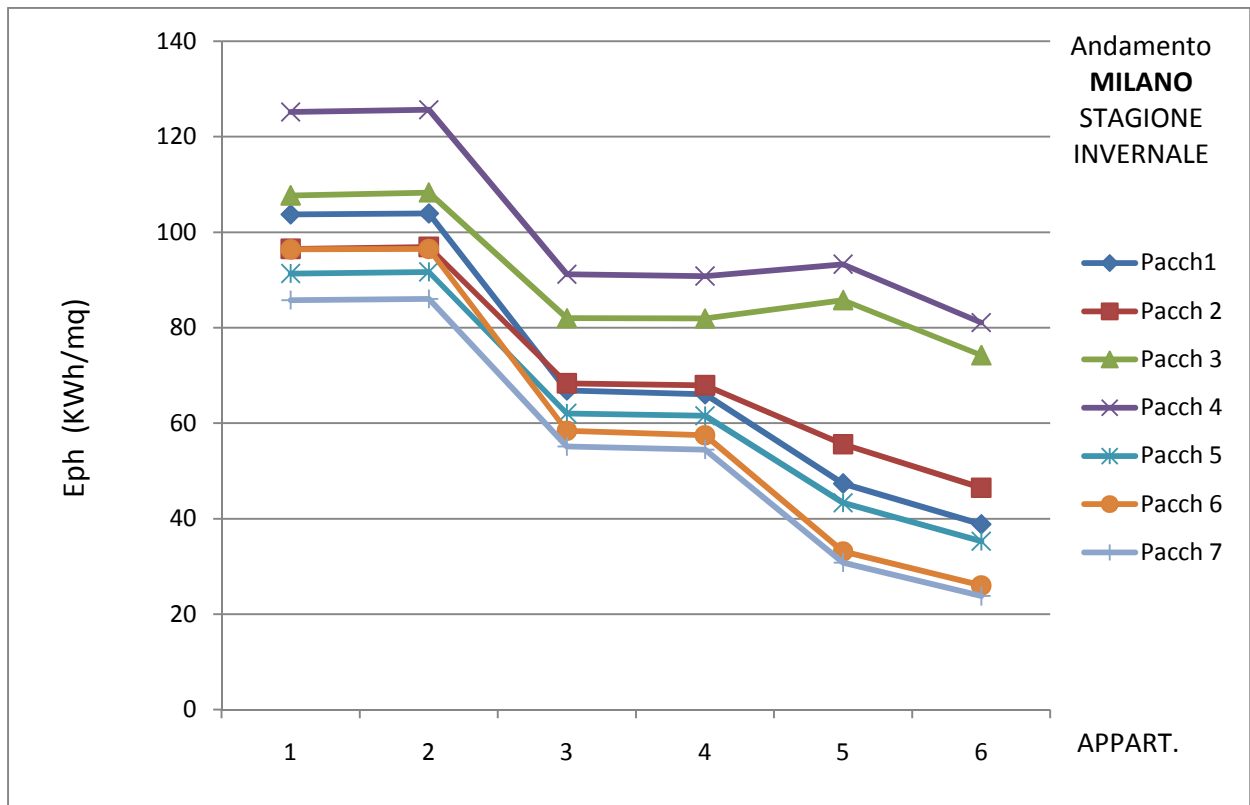
Dopo aver richiesto al programma EnergyPlus tra gli output l'energia necessaria mensile per il riscaldamento ed il raffrescamento, è stato innanzitutto calcolato, per ogni pacchetto di studio, l'energia annua necessaria per la stagione invernale e l'energia annua necessaria per la stagione estiva.

Rapportando successivamente tali valori alla superficie delle singole zone climatiche, di circa 80 mq ciascuna, è stato calcolato il fabbisogno energetico annuo per il riscaldamento **Eph** (KWh/mq a), il fabbisogno energetico per il raffrescamento **Etc** (KWh/mq a) e di conseguenza l'energia primaria annua necessaria **EP** (KWh/mq a), somma del fabbisogno energetico estivo ed invernale (*Vedi Tab.5.2.1 - 5.2.2 - 5.2.3*).

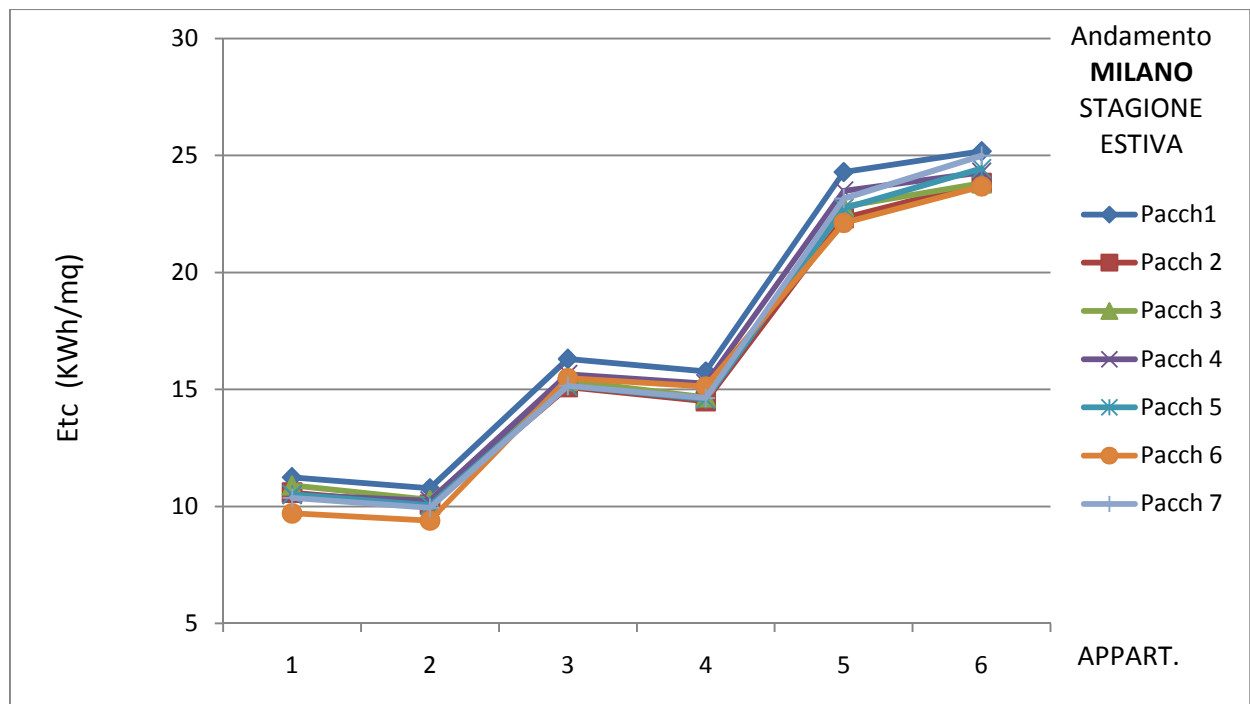
Sono stati infine rielaborati i risultati e confrontate le prestazioni dei differenti pacchetti, traducendo la differenza di prestazione in percentuale. Come zone climatiche sono state considerate le tre categorie di appartamenti A, B e C (*Vedi Par.4.2*), quindi i risultati dei differenti pacchetti sono stati confrontati in relazione a queste tre categorie.

MILANO	Fabbisogno Energetico Raffrescamento	Fabbisogno Energetico Riscaldamento	Eph (INV)	Etc (EST)	Energia Primaria EP
PACCH.1					
App 1	11	104	121.99	5.11	127.10
App 2	11	104	122.23	4.90	127.12
App 3	16	67	78.63	7.41	86.04
App 4	16	66	77.69	7.17	84.85
App 5	24	47	55.73	11.04	66.77
App 6	25	39	45.71	11.44	57.15
PACCH.2					
App 1	11	97	113.54	4.81	118.35
App 2	10	97	114.01	4.58	118.59
App 3	15	68	80.42	6.86	87.28
App 4	14	68	79.95	6.59	86.54
App 5	22	56	65.38	10.15	75.52
App 6	24	46	54.70	10.83	65.53
PACCH.3					
App 1	11	108	126.69	4.96	131.64
App 2	10	108	127.42	4.67	132.09
App 3	15	82	96.44	6.99	103.43
App 4	15	82	96.37	6.67	103.04
App 5	23	86	100.90	10.37	111.28
App 6	24	74	87.33	10.83	98.15
PACCH.4					
App 1	10	125	147.24	4.77	152.02
App 2	10	126	147.83	4.66	152.49
App 3	16	91	107.30	7.11	114.42
App 4	15	91	106.83	6.93	113.76
App 5	23	93	109.76	10.67	120.43
App 6	24	81	95.38	11.04	106.41
PACCH.5					
App 1	11	91	107.47	4.78	112.25
App 2	10	92	107.87	4.57	112.44
App 3	15	62	73.01	6.89	79.89
App 4	15	62	72.40	6.63	79.03
App 5	23	43	50.96	10.34	61.30
App 6	24	35	41.51	11.11	52.62
PACCH.6					
App 1	10	96	113.40	4.41	117.81
App 2	9	96	113.52	4.27	117.79
App 3	15	58	68.70	7.04	75.73
App 4	15	57	67.64	6.88	74.51
App 5	22	33	39.01	10.05	49.06
App 6	24	26	30.60	10.76	41.36
PACCH.7					
App 1	10	86	100.93	4.71	105.64
App 2	10	86	101.21	4.52	105.73
App 3	15	55	64.87	6.89	71.76
App 4	15	54	64.10	6.65	70.75
App 5	23	31	36.26	10.53	46.78
App 6	25	24	27.99	11.36	39.35

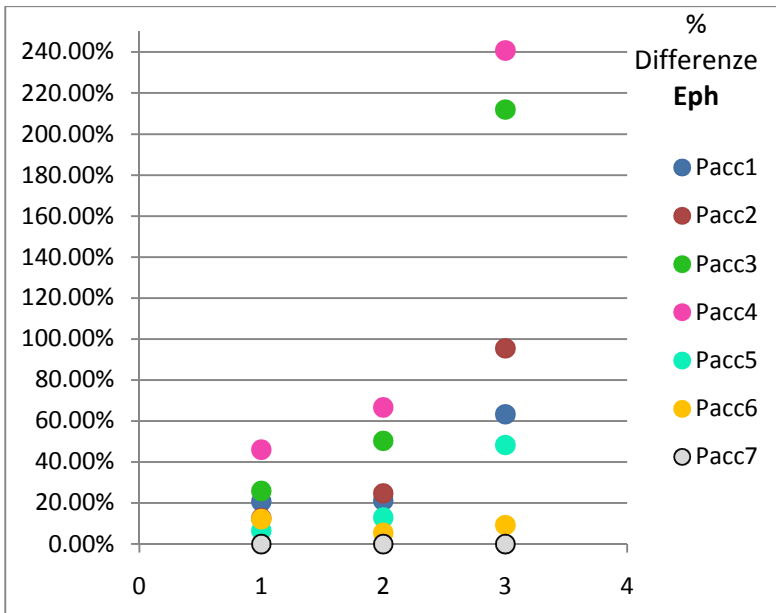
Tab. 5.2.1 : Fabbisogno energetico (Milano).



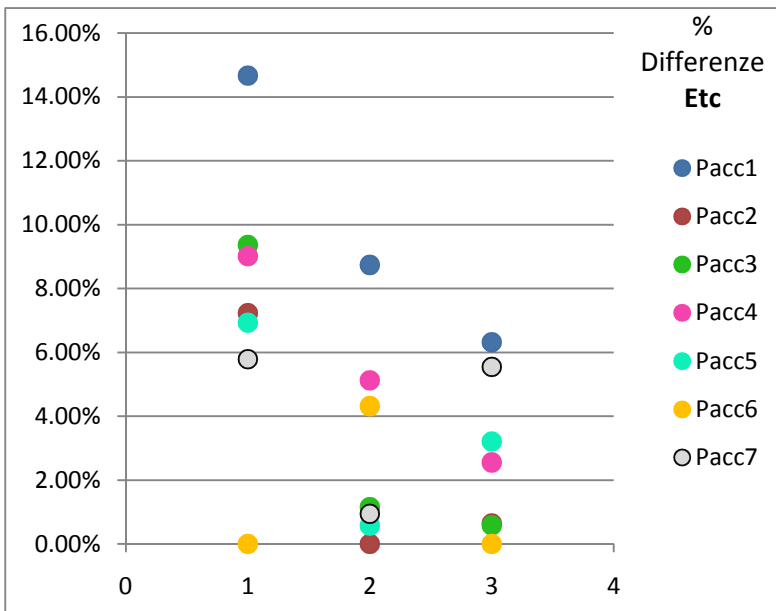
Graf. 5.2.1 : Fabbisogno energetico invernale (Milano).



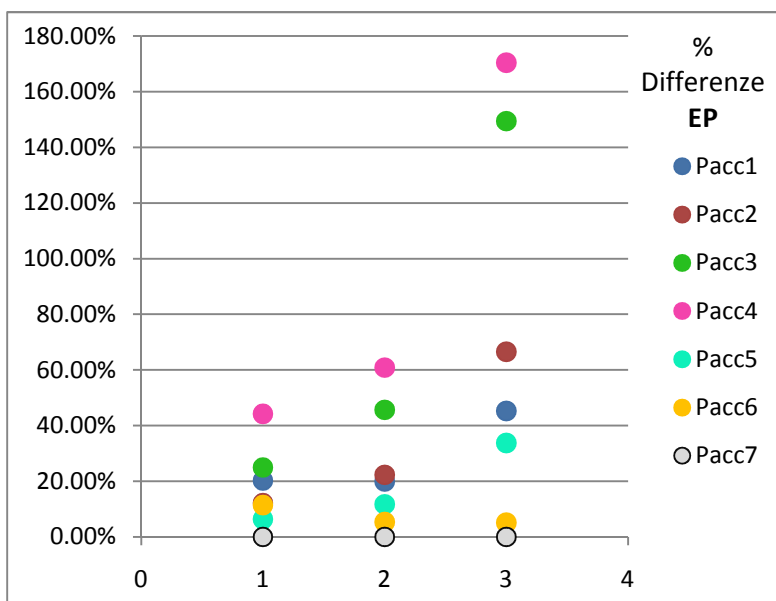
Graf. 5.2.2 : Fabbisogno energetico estivo (Milano).



Graf. 5.2.3 : Differenze in % fabbisogno energetico invernale (Milano).



Graf. 5.2.4 : Differenze in % fabbisogno energetico estivo (Milano).



Graf. 5.2.4 : Differenze in % fabbisogno energia primaria (Milano).

Confrontando il **fabbisogno energetico invernale**:

- per tutte e tre le categorie le prestazioni migliori sono risultate quelle del pacchetto 7

- i pacchetti 3 e 4 sono invece risultati i meno prestazionali, con un'alta percentuale di differenza dei risultati che aumenta dalla categoria A (per cui è di circa il 50%) fino alla categoria C (per cui supera il 200%).

Considerando il **fabbisogno energetico estivo** (anche se con una percentuale di differenza prestazionale molto ridotta):

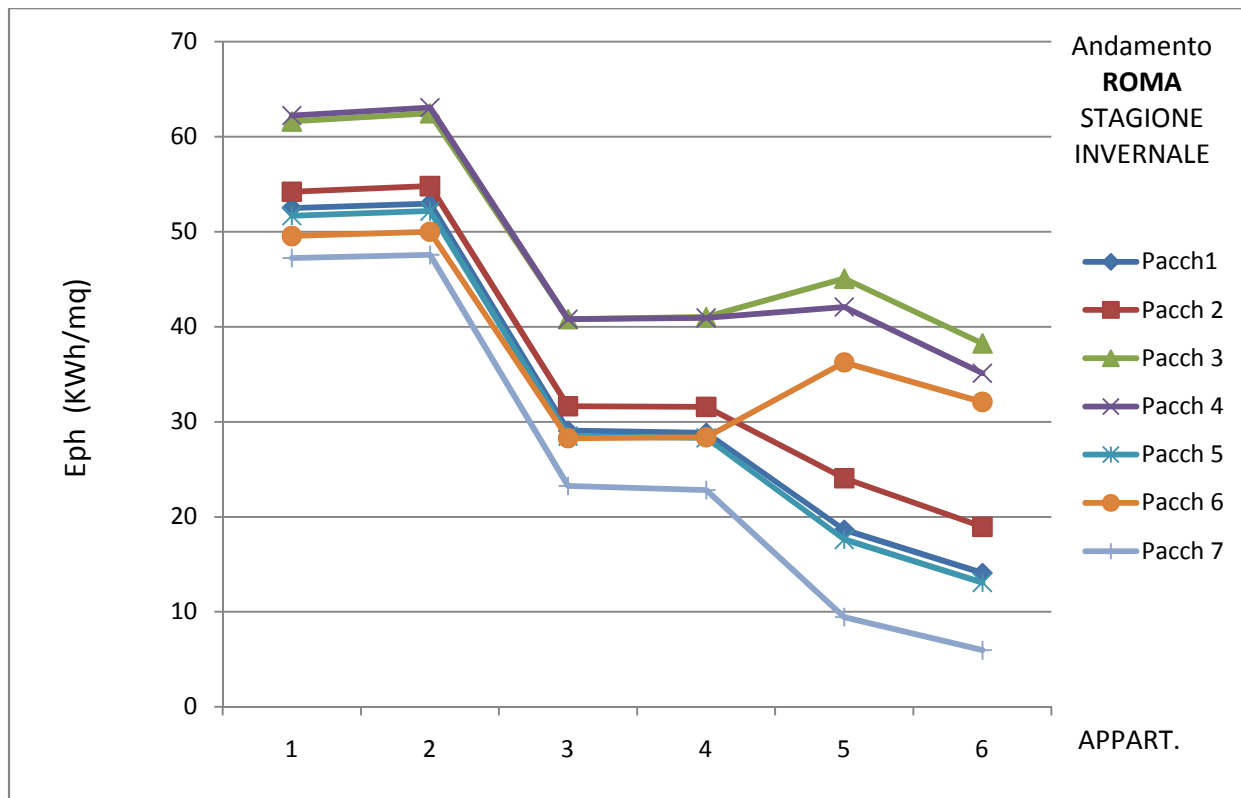
- per le categorie A e C il pacchetto 6 è la soluzione risultata più prestazionale

- per la categoria B invece il pacchetto 2.

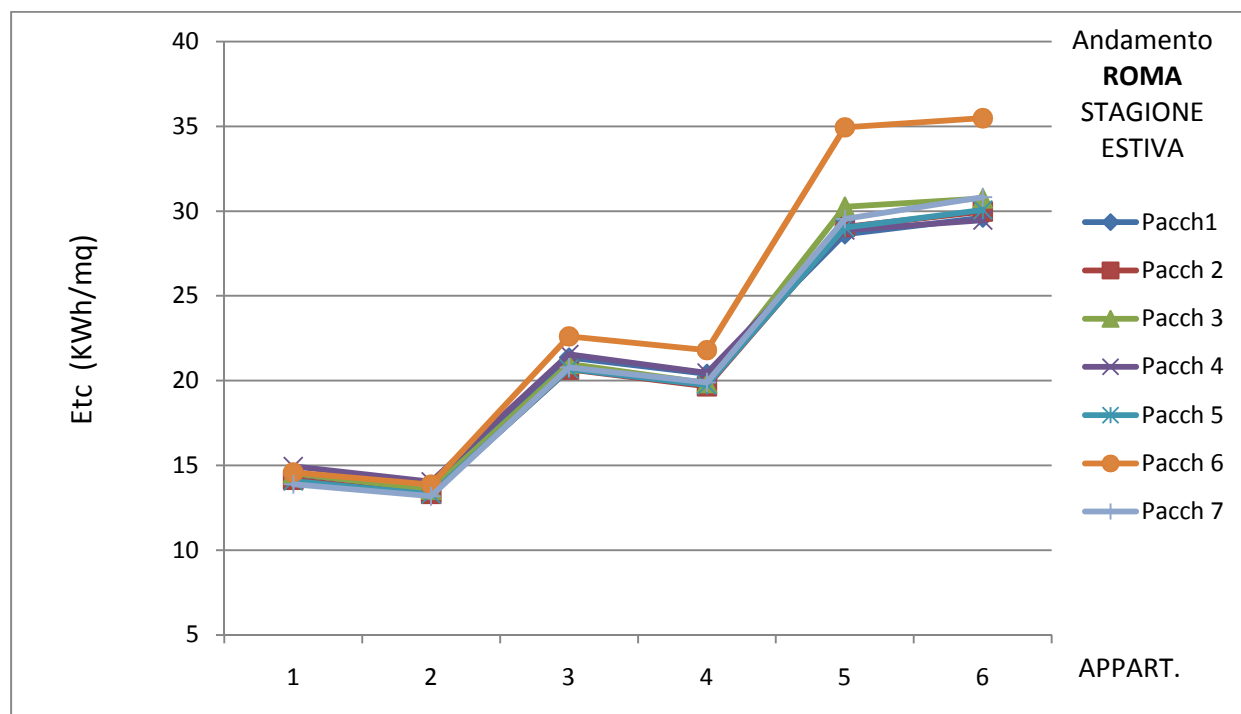
Per quanto riguarda in conclusione l'**energia primaria**, influenzata maggiormente dalle prestazioni invernali, il pacchetto risultato migliore per tutte le categorie di zone climatiche è in 7, ovvero l'abbinamento tra bassa trasmittanza e massività maggiorata, mentre la maggiorazione della trasmittanza, pacchetti 3 e 4, è risultata la soluzione meno prestazionale.

ROMA	Fabbisogno Energetico Raffrescamento	Fabbisogno Energetico Riscaldamento	Eph (INV)	Etc (EST)	Energia Primaria EP
PACCH.1					
App 1	14	53	61.77	6.57	68.34
App 2	14	53	62.33	6.22	68.55
App 3	21	29	34.20	9.71	43.91
App 4	20	29	33.93	9.27	43.21
App 5	29	19	21.91	13.02	34.93
App 6	30	14	16.59	13.46	30.05
PACCH.2					
App 1	14	54	63.78	6.43	70.21
App 2	13	55	64.47	6.05	70.53
App 3	21	32	37.22	9.39	46.61
App 4	20	32	37.13	8.94	46.07
App 5	29	24	28.32	13.21	41.53
App 6	30	19	22.28	13.62	35.90
PACCH.3					
App 1	15	62	72.48	6.60	79.09
App 2	14	62	73.50	6.17	79.66
App 3	21	41	48.01	9.54	57.56
App 4	20	41	48.27	9.02	57.30
App 5	30	45	53.03	13.76	66.79
App 6	31	38	45.01	13.98	58.98
PACCH.4					
App 1	15	62	73.22	6.79	80.01
App 2	14	63	74.19	6.38	80.57
App 3	22	41	48.01	9.80	57.81
App 4	20	41	48.15	9.30	57.45
App 5	29	42	49.51	13.13	62.64
App 6	29	35	41.30	13.39	54.69
PACCH.5					
App 1	14	52	60.79	6.40	67.20
App 2	13	52	61.38	6.04	67.43
App 3	21	28	33.52	9.41	42.93
App 4	20	28	33.31	8.97	42.28
App 5	29	18	20.72	13.20	33.92
App 6	30	13	15.41	13.67	29.07
PACCH.6					
App 1	15	50	58.29	6.63	64.92
App 2	14	50	58.83	6.30	65.13
App 3	23	28	33.26	10.28	43.54
App 4	22	28	33.39	9.91	43.29
App 5	35	36	42.65	15.88	58.53
App 6	35	32	37.75	16.13	53.88
PACCH.7					
App 1	14	47	55.56	6.31	61.87
App 2	13	48	55.95	5.99	61.94
App 3	21	23	27.36	9.44	36.80
App 4	20	23	26.85	9.05	35.90
App 5	30	9	11.10	13.43	24.53
App 6	31	6	7.01	14.01	21.02

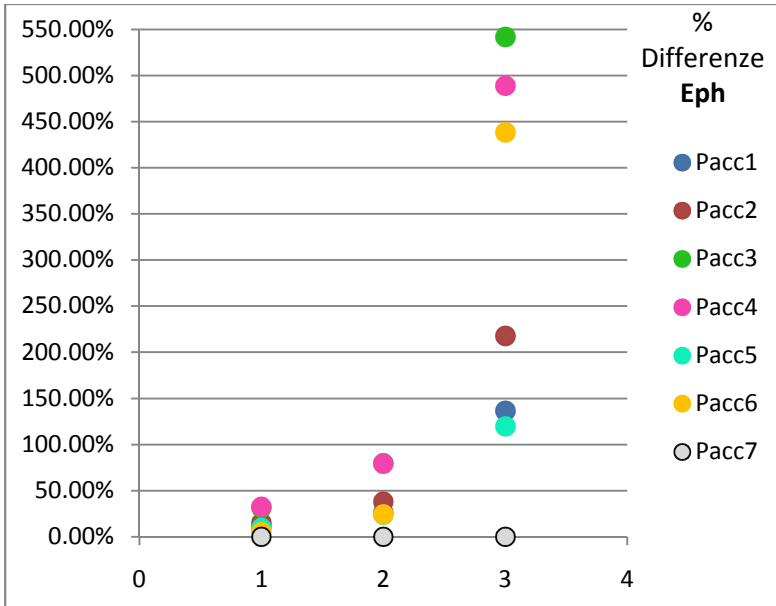
Tab. 5.2.2 : Fabbisogno energetico (Roma).



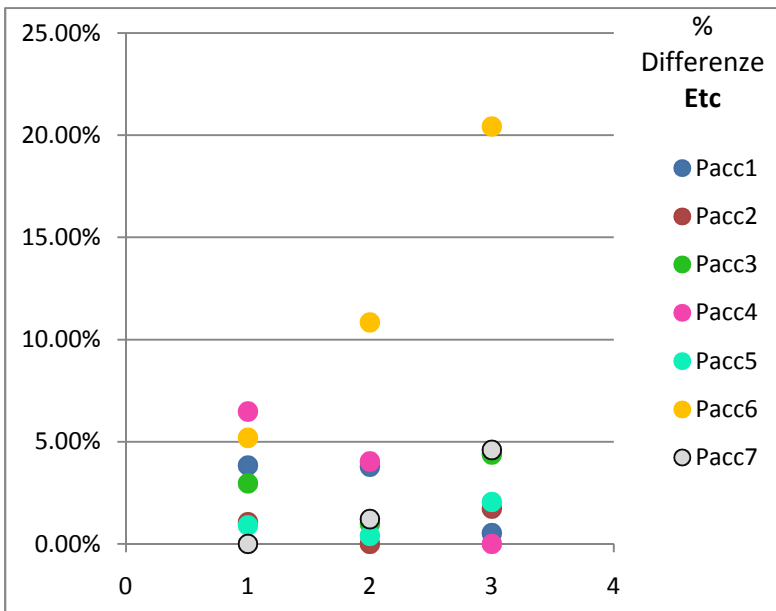
Graf. 5.2.5: Fabbisogno energetico invernale (Roma).



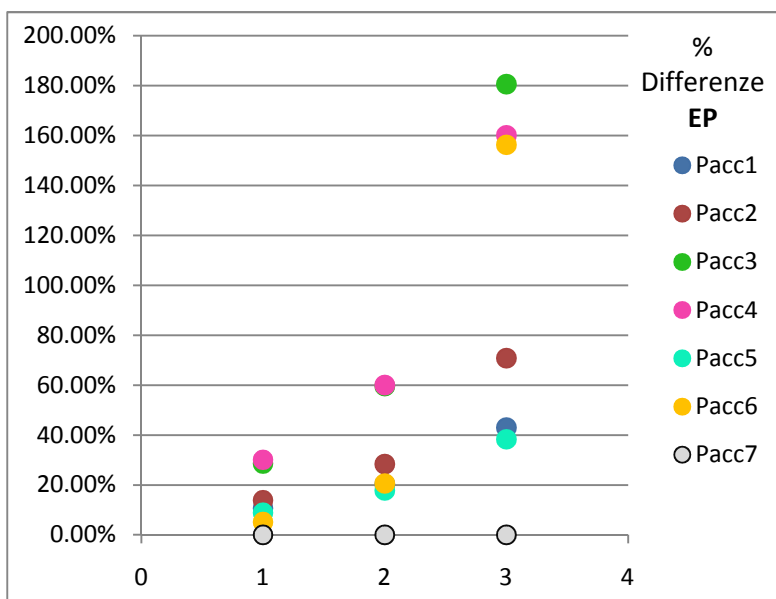
Graf. 5.2.6: Fabbisogno energetico estivo (Roma).



Graf. 5.2.7 : Differenze in % fabbisogno energetico invernale (Roma).



Graf. 5.2.8 : Differenze in % fabbisogno energetico estivo (Roma).



Graf. 5.2.9 : Differenze in % fabbisogno energia primaria (Roma).

Confrontando il **fabbisogno energetico invernale** si nota un comportamento dei pacchetti molto simile a quelli del caso milanese: per tutte e tre le categorie le prestazioni migliori sono risultate quelle del pacchetto 7, mentre i pacchetti 3 e 4 (e 6 solo per la categoria C) sono risultati i meno prestazionali con una differenza di prestazione che per la categoria C arriva fino al 500 %.

Considerando il **fabbisogno energetico estivo** (anche se con una percentuale di differenza prestazionale molto ridotta):

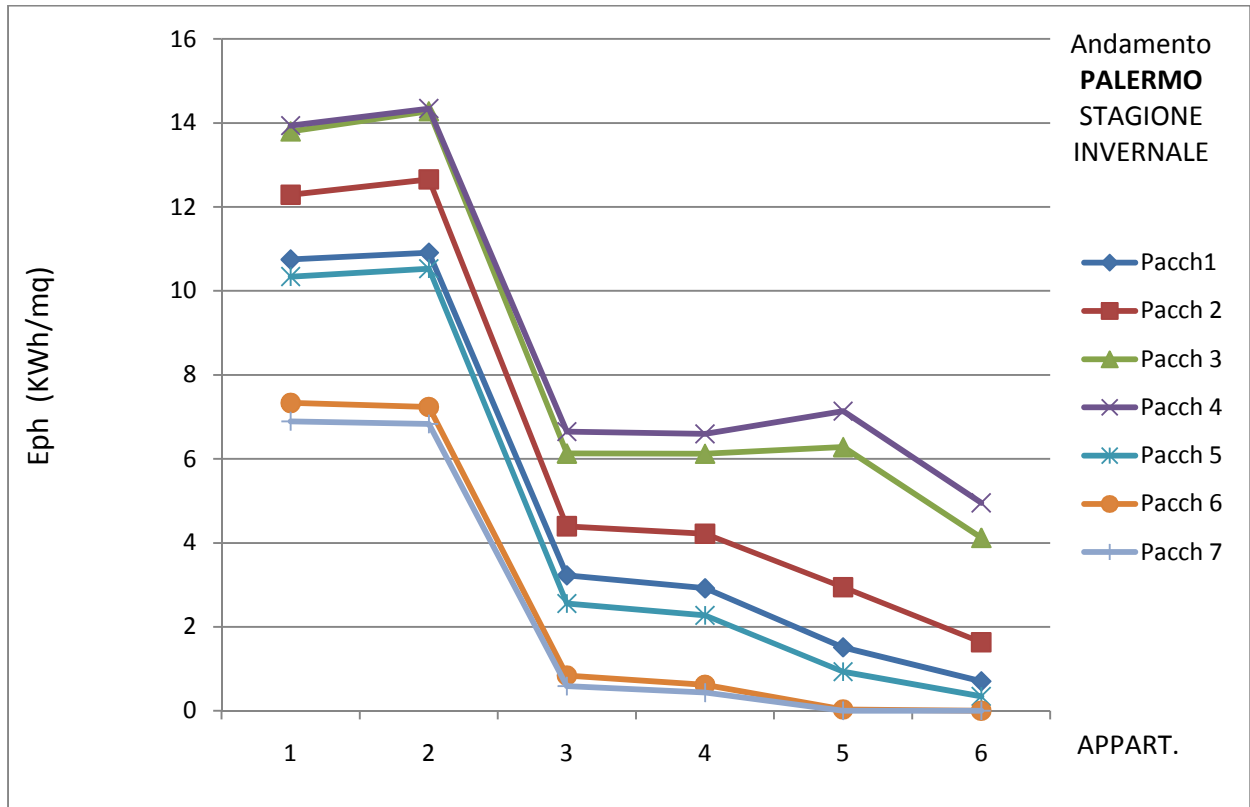
per le categorie A il pacchetto 7 è la soluzione risultata più prestazionale, per la categoria B il pacchetto 2 e per la categoria C il pacchetto 4.

Si deduce dal grafico 5.2.8 che per la categoria di appartamenti C, a parità di massività, l'alta trasmittanza del pacchetto 4 porta i risultati migliori, mentre la bassa trasmittanza del pacchetto 6, differenzia le prestazioni in modo peggiorativo del 20%.

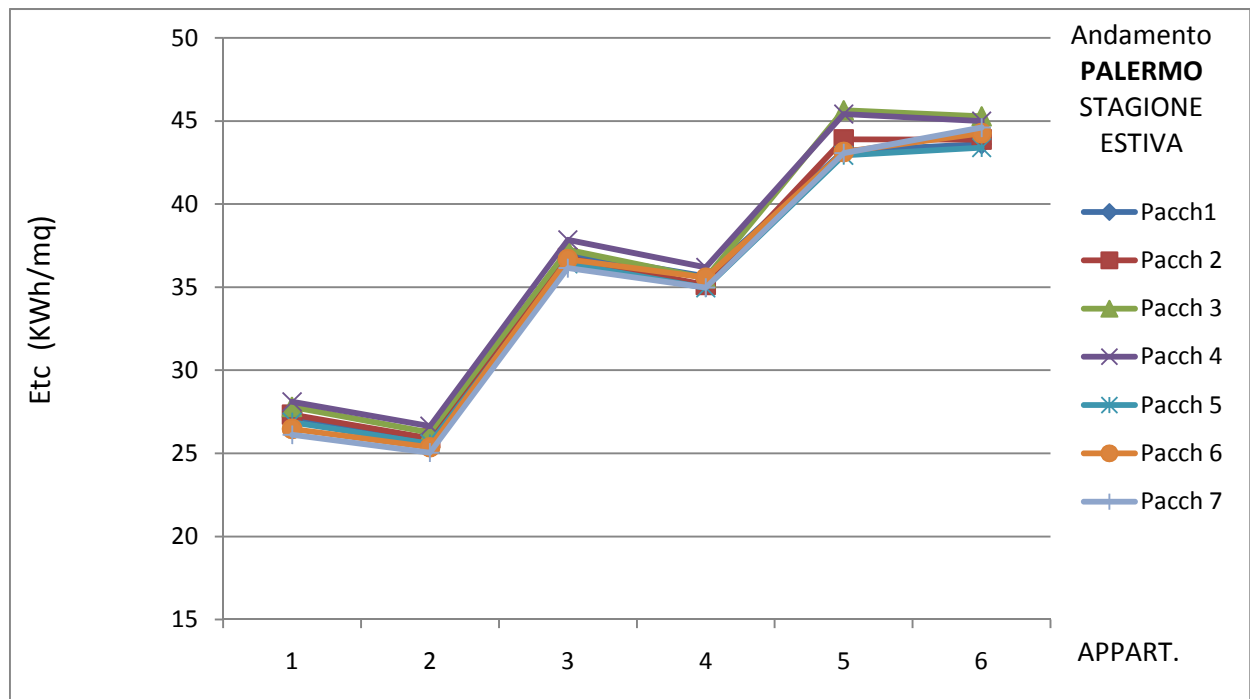
I risultati che riguardano l'**energia primaria** rispecchiano quelli ottenuti per il fabbisogno energetico invernale, riducendo però le differenze di prestazioni tra i pacchetti.

PALERMO	Fabbisogno Energetico Raffrescamento	Fabbisogno Energetico Riscaldamento	Eph (INV)	Etc (EST)	Energia Primaria EP
PACCH.1					
App 1	27	11	12.65	12.35	25.00
App 2	26	11	12.84	11.77	24.61
App 3	37	3	3.80	16.84	20.63
App 4	36	3	3.43	16.20	19.64
App 5	43	2	1.78	19.64	21.42
App 6	44	1	0.83	19.82	20.65
PACCH.2					
App 1	27	12	14.46	12.43	26.89
App 2	26	13	14.89	11.78	26.66
App 3	37	4	5.17	16.71	21.88
App 4	35	4	4.96	15.97	20.93
App 5	44	3	3.47	19.95	23.42
App 6	44	2	1.92	19.95	21.87
PACCH.3					
App 1	28	14	16.23	12.63	28.86
App 2	26	14	16.80	11.93	28.73
App 3	37	6	7.21	16.94	24.15
App 4	36	6	7.20	16.15	23.35
App 5	46	6	7.39	20.75	28.14
App 6	45	4	4.85	20.58	25.43
PACCH.4					
App 1	28	14	16.39	12.77	29.17
App 2	27	14	16.88	12.11	28.99
App 3	38	7	7.82	17.20	25.02
App 4	36	7	7.76	16.45	24.21
App 5	45	7	8.40	20.65	29.04
App 6	45	5	5.83	20.45	26.28
PACCH.5					
App 1	27	10	12.17	12.22	24.38
App 2	26	11	12.39	11.63	24.02
App 3	36	3	3.01	16.55	19.56
App 4	35	2	2.67	15.89	18.57
App 5	43	1	1.10	19.52	20.61
App 6	43	0	0.41	19.72	20.13
PACCH.6					
App 1	26	7	8.63	12.03	20.66
App 2	25	7	8.51	11.53	20.04
App 3	37	1	0.99	16.67	17.66
App 4	36	1	0.73	16.17	16.90
App 5	43	0	0.04	19.61	19.65
App 6	44	0	0.00	20.12	20.12
PACCH.7					
App 1	26	7	8.11	11.87	19.99
App 2	25	7	8.04	11.39	19.42
App 3	36	1	0.69	16.43	17.12
App 4	35	0	0.51	15.90	16.41
App 5	43	0	0.00	19.58	19.58
App 6	45	0	0.00	20.27	20.27

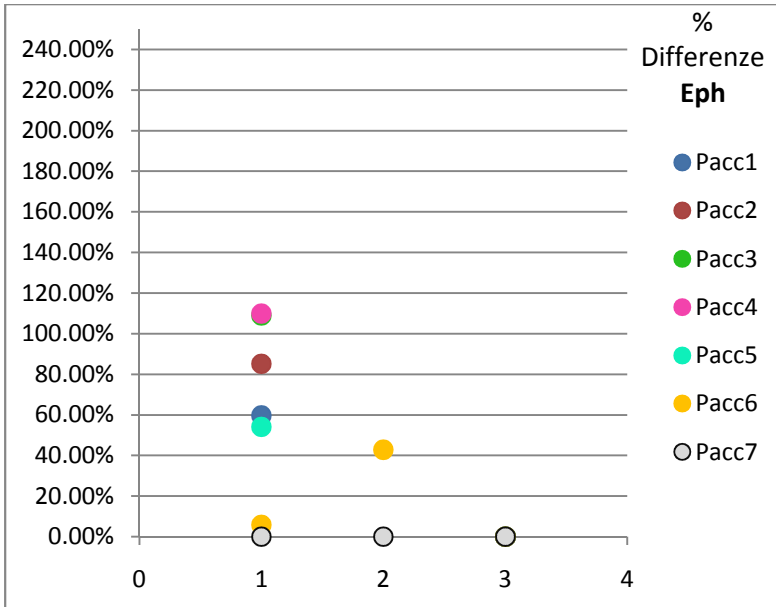
Tab. 5.2.3 : Fabbisogno energetico (Palermo).



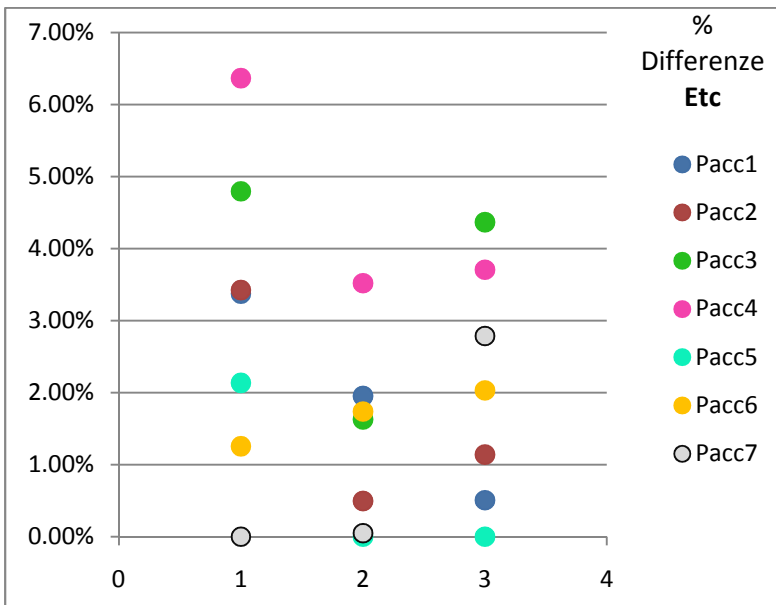
Graf. 5.2.10: Fabbisogno energetico invernale (Palermo).



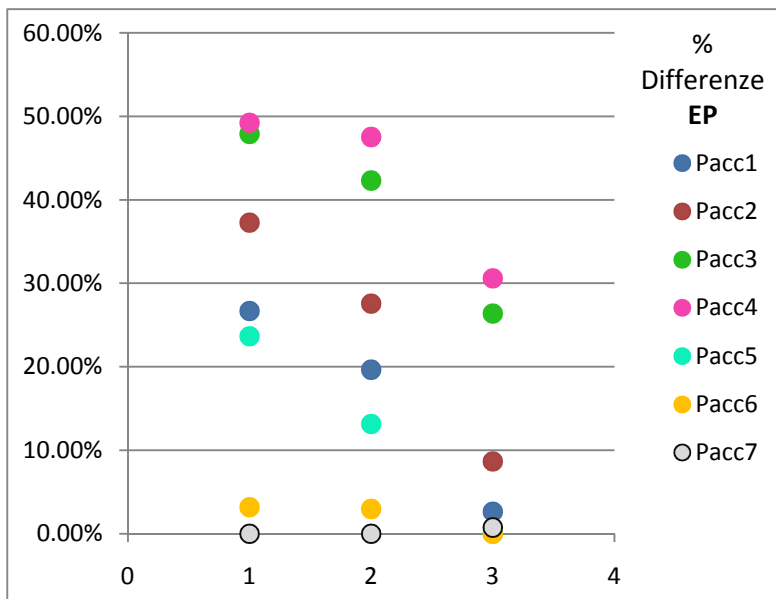
Graf. 5.2.11 : Fabbisogno energetico estivo (Palermo).



Graf. 5.2.12 : Differenze in % fabbisogno energetico invernale (Palermo)



Graf. 5.2.13 : Differenze in % fabbisogno energetico estivo (Palermo).



Graf. 5.2.14 : Differenze in % fabbisogno energia primaria (Palermo).

Confrontando il **fabbisogno energetico invernale** si nota un comportamento dei pacchetti molto simile per la categoria C, prestazioni che si differenziano per la categoria A, in cui, anche per il caso di Palermo, il pacchetto 7 è risultato il migliore e i pacchetti 3 e 4 le soluzioni con prestazioni peggiori, con una differenza più alta del 100%.

Considerando il **fabbisogno energetico estivo** si nota che la differenza tra le prestazioni dei pacchetti rientra in un range del 7%, quindi molto ridotte. Per la categoria A e B il pacchetto migliore risulta il 7, mentre per la categoria C il pacchetto con miglior prestazioni è il 5, caratterizzato dalla trasmittanza richiesta dalla normativa e un'alta massività.

I risultati che riguardano l'**energia primaria**, a differenza delle simulazioni negli altri contesti, non rispecchiano quelli ottenuti per il fabbisogno energetico invernale. Oltre al pacchetto 7, anche il 6, definito da bassa trasmittanza e bassa massività, rispecchia buoni risultati. Mentre anche in questo caso i pacchetti 3 e 4 risultano i pacchetti con minor prestazioni, quindi una influenza negativa della maggiorazione della trasmittanza.

CONCLUSIONI

Con il presente lavoro di tesi si è voluto evidenziare come lo sviluppo della valutazione energetica in edilizia in questi ultimi anni abbia apportato modifiche nei metodi di calcolo.

Attraverso la simulazione sviluppata con Energy Plus, è stato possibile verificare l'influenza di tutti i parametri presi in considerazione, fisici, termo fisici e dinamici che hanno caratterizzato l'evoluzione della valutazione energetica.

Con lo sviluppo della simulazione, considerando i differenti pacchetti di involucro, è stato dimostrato come i parametri fisici, propri dei materiali, abbiano riportato diversi livelli prestazionali; ma soprattutto, come tali prestazioni cambiassero poiché influenzati dai parametri variabili propri dei contesti climatici e delle variazioni delle condizioni esterne ed interne nell'arco del periodo della simulazione.

7 BIBLIOGRAFIA

1. Giancarlo Chiesa, Giuliano Dall'O', *Risparmio energetico in edilizia : criteri e norme*, Casa Editrice Ambrosiana, Milano, 1996.
2. Livio De Santoli, *Fisica tecnica ambientale: trasmissione del calore*, Casa Editrice Ambrosiana, Milano, 1999.
3. Yunus A. Çengel, *Termodinamica e trasmissione del calore*, Mcgraw-hill, Milano, 1997.
4. Federico M. Butera, *Architettura e ambiente : manuale per il controllo della qualità termica, luminosa e acustica degli edifici*, ETAS libri, Milano, 1995.
5. Cibse, *Environmental design*, The Chartered Institution of Building Services Engineers, Londra, Ottobre 1999.
6. Rockwool, *Efficienza energetica degli edifici: prestazioni termiche e comportamento ambientale*, Rockwool Italia S.p.A, Milano, Giugno 2005.
7. Legge 10/91, *Norme in materia di uso razionale dell'energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia*, 9 gennaio 1991.
8. DPR 412/93, *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, 26 Agosto 1993.

- 9.** *DPR 551/99, Regolamento recante modifiche al decreto del Presidente della Repubblica 26 agosto 1993, n. 412, in materia di progettazione, installazione, esercizio e manutenzione degli impianti termici degli edifici, ai fini del contenimento dei consumi di energia, 21 Dicembre 1999.*

- 10.** *DE 91/2002, Conversione in legge, con modificazioni, del decreto-legge 11 marzo 2002, n. 28, recante modifiche all'articolo 9 della legge 23 dicembre 1999, n. 488, relative al contributo unificato di iscrizione a ruolo dei procedimenti giurisdizionali civili, penali e amministrativi, nonché alla legge 24 marzo 2001, n. 89, in materia di equa ripartizione, 10 Maggio 2002.*

- 11.** *DLG 192/2005, Attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia, 19 Agosto 2005.*

- 12.** *DLG 311/2006, 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, 29 dicembre 2006.*

- 13.** *DGR VIII/8745, Determinazioni in merito alle disposizioni per l'efficienza energetica in edilizia e per la certificazione energetica degli edifici, 22 Dicembre 2008.*

- 14.** *DECRETO DEL PRESIDENTE DELLA REPUBBLICA n. 59, 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, 2 aprile 2009.

- 15.** UNI EN ISO 6946:2008, *Componenti ed elementi per edilizia - Resistenza termica e trasmittanza termica - Metodo di calcolo*, 1 Luglio 2008.
- 16.** UNI EN ISO 13786:2008, *Prestazione termica dei componenti per edilizia - Caratteristiche termiche dinamiche - Metodi di calcolo*, 2008.
- 17.** UNI TS 11300, *Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione estiva*, 2008.
- 18.** UNI 10349:1994, *Riscaldamento e raffrescamento degli edifici. Dati climatici*, 30 Aprile 1994.
- 19.** UNI 10344:1994, *Recepimento delle norme uni attuative del D.P.R. 26 agosto 1993, n.412, recante il regolamento per il contenimento dei consumi di energia degli impianti termici degli edifici, e rettifica del valore limite del fabbisogno energetico normalizzato*, 6 Agosto 1994.
- 20.** UNI 10375:1995, *Metodo di calcolo della temperatura interna estiva degli ambienti*, 30 Giugno 1995.
- 21.** UNI 10351:1994, *Materiali da costruzione. Conduktività termica e permeabilità al vapore*, 31 Marzo 1994.
- 22.** *Energy Plus Manual*, US Department of Energy, Novembre 2008.
- 23.** <http://www.energyplus.gov>