



POLITECNICO DI MILANO

Facoltà di Architettura

Corso di Laurea Magistrale in Architettura

PSPA: Progetto Tecnologico / Strutturale delle costruzioni – TS9

SUMMER PERFORMANCE

Simulazione e verifica delle prestazioni energetiche estive di edifici residenziali ad alta efficienza a Milano

Relatore: **Prof. Giuliano DALL'Ó**

Correlatore: **Ing. Luca SARTO**

Tesi di Laurea Magistrale di:

Angelo MARTUCCI Matricola: 749229

A.A. 2010/2011

*A tutte le persone
che mi hanno portato ad essere
ciò che sono:
le passate,
le presenti,
e quelle che non ci sono più.
Alle persone di una vita.
A LEI, la sola.*

PAROLE CHIAVE:

Simulazioni in regime dinamico; Simulazioni in regime stazionario; Certificazione energetica; EnergyPlus; Monitoraggio delle prestazioni energetiche; Temperatura di setpoint; Consumi per il condizionamento estivo; Anno Tipo.

INDICE

ABSTRACT	11
INTRODUZIONE	12
OBIETTIVI DELLA TESI	12
MOTIVAZIONI	14
DEFINIZIONE DELL' APPROCCIO METODOLOGICO	15
CAPITOLO 1.....	17
EDILIZIA ED ENERGIA	17
1.1. LA QUESTIONE ENERGETICA. INQUADRAMENTO GENERALE.....	17
1.2. UNIONE EUROPEA E RISPARMIO ENERGETICO	19
1.3. LEGISLAZIONE NAZIONALE	21
1.4. LEGISLAZIONE REGIONALE.....	24
1.5. LA VERIFICA DELLE PRESTAZIONI ENERGETICHE OGGI.....	26
CAPITOLO 2.....	30
DESCRIZIONE DEL CASO STUDIO	30
2.1. LOCALIZZAZIONE E CARATTERISTICHE ENERGETICHE DELL' EDIFICIO	30
2.2. LA CAMPAGNA DI MONITORAGGIO INVERNALE	32
2.3. LA CAMPAGNA DI MONITORAGGIO ESTIVO.....	34
2.4. DEFINIZIONE DEL CAMPIONE D' ANALISI E SIMULAZIONI DINAMICHE	35
2.5. SEMPLIFICAZIONI IMPIANTISTICHE ADOTTATE	37
2.6. LA DEFINIZIONE DEI PROFILI D' UTENZA	40
2.7. CONSIDERAZIONI SULL' ANNO TIPO: LA NECESSITÀ DELLA NORMALIZZAZIONE.....	43
2.8. LA COSTRUZIONE DELL' ANNO METEOROLOGICO REALE.....	46
2.9. PROVE EMPIRICHE PER LA VERIFICA DELLE PRESTAZIONI DELL' INVOLUCRO.....	48
CAPITOLO 3.....	52
VERIFICA DELLE PRESTAZIONI ENERGETICHE COMPLESSIVE	52
3.1. RISULTATI DEL MONITORAGGIO INVERNALE.....	52
3.2. RISULTATI DEL MONITORAGGIO ESTIVO.....	54
3.3. RISULTATI DELLE SIMULAZIONI CON ANNO METEOROLOGICO REALE.....	56

3.4. DETERMINAZIONE DEL MIGLIOR LIVELLO DI SEMPLIFICAZIONE GEOMETRICA.....	60
3.5. RISULTATI DELLE PROVE TERMOFLUSSIMETRICHE.....	62
CAPITOLO 4.....	69
TEMPERATURA DI SETPOINT E CONSUMI ESTIVI.....	69
4.1. I SONDAGGI CONDOTTI E L'INFLUENZA DELLA TEMPERATURA DI SETPOINT.....	69
4.2. OBIETTIVI E NUOVE SEMPLIFICAZIONI ADOTTATE.....	73
4.3. INCIDENZA DELLA TEMPERATURA DI SETPOINT: RISULTATI DELLE SIMULAZIONI.....	75
4.4. INDIVIDUAZIONE DELLA CURVA DI CRESCITA TEORICA DEI CONSUMI ESTIVI.....	80
4.5. CURVE DI CRESCITA TEORICA E REALE A CONFRONTO.....	83
CAPITOLO 5.....	85
COMMENTI E DISCUSSIONI SULLA METODOLOGIA USATA.....	85
5.1. DESCRIZIONE SINTETICA DEL MOTORE DI CALCOLO ENERGYPLUS V. 7.0.....	85
5.2. INDIVIDUARE IL MIGLIOR GRADO DI SEMPLIFICAZIONE.....	87
5.3. COME INTERPRETARE I RISULTATI OTTENUTI.....	89
5.4. L'IMPORTANZA DELLE CAMPAGNE DI MONITORAGGIO.....	92
5.5. PERCHÉ COMPRENDERE IL COMPORTAMENTO ESTIVO.....	93
5.6. QUALE FUTURO PER LE SIMULAZIONI IN REGIME DINAMICO.....	94
CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....	98
ALLEGATI TECNICI.....	101
ATTESTATO DI CERTIFICAZIONE ENERGETICA DELL'INTERVENTO STUDIATO.....	101
PIANTA APPARTAMENTO 3, VIA POMPEO MARCHESI, MILANO.....	102
PIANTA APPARTAMENTO 54, VIA POMPEO MARCHESI, MILANO.....	103
PIANTA APPARTAMENTO 95 (P. 7), VIA POMPEO MARCHESI, MILANO.....	104
PIANTA APPARTAMENTO 95 (P. 8), VIA POMPEO MARCHESI, MILANO.....	105
RIFERIMENTI ESTERNI.....	106
BIBLIOGRAFIA.....	106
SITOGRAFIA.....	107
RINGRAZIAMENTI.....	108

INDICE DELLE TABELLE

CAPITOLO 1

<i>Tab. 01</i> – Le tappe fondamentali dell’evoluzione normativa nell’Unione Europea.....	19
<i>Tab. 02</i> – Quadro di riferimento nazionale sull’efficienza energetica in edilizia.....	21
<i>Tab. 03</i> – Norme per la procedura di calcolo sottesa alla certificazione energetica.....	29

CAPITOLO 2

<i>Tab. 04</i> – Peculiarità del campione d’analisi	35
<i>Tab. 05</i> – Volumi d’estrazione d’aria per gli appartamenti Detailed abitati.....	39
<i>Tab. 06</i> – Ripartizione giornaliera delle potenze elettriche per i profili d’utenza	42
<i>Tab. 07</i> – Confronto tra le temperature medie mensili di due Anni Tipo per Milano	44
<i>Tab. 08</i> – TRY di Milano e temperature medie mensili ufficialmente riconosciute	45
<i>Tab. 09</i> – Anno Reale, Anno Tipo (CNR) e temperature medie mensili ufficiali	47
<i>Tab. 10</i> – Stratigrafia della parete esterna di tamponamento, Appartamento 77.....	49

CAPITOLO 3

<i>Tab. 11</i> – Tabella di sintesi delle caratteristiche costruttive e impiantistiche.....	52
<i>Tab. 12</i> – Energia primaria per il periodo 21/01/2011 - 07/04/2011 (kWh/m ² anno)	53
<i>Tab. 13</i> – Fabbisogno energetico reale e normalizzato sulla base dei GG calcolati.....	55
<i>Tab. 14</i> – Fabbisogno Energetico normalizzato sui 26°C di Temperatura interna	55
<i>Tab. 15</i> – Indici di prestazione in kWh/m ² anno per il campione d’analisi	61
<i>Tab. 16</i> – Differenza percentuale tra indici di prestazione calcolati e rilevati.....	62
<i>Tab. 17</i> – Flusso termico specifico attraverso la parete oggetto di studio	68

CAPITOLO 4

<i>Tab. 18</i> – App. n. 3: consumi per il periodo estivo in funzione del setpoint adottato	76
<i>Tab. 19</i> – App. n. 54: consumi per il periodo estivo in funzione del setpoint adottato	76

Tab. 20 – App. n. 95: consumi per il periodo estivo in funzione del setpoint adottato	77
Tab. 21 – App. n. 3: consumi stagionali in funzione di setpoint e orientamento.....	80
Tab. 22 – App. n. 54: consumi stagionali in funzione di setpoint e orientamento.....	81
Tab. 23 – App. n. 95: consumi stagionali in funzione di setpoint e orientamento.....	81
Tab. 24 – Consumi medi usati per l’individuazione della curva di crescita	82

INDICE DELLE FIGURE

CAPITOLO 1

<i>Fig. 01</i> – Suddivisione del territorio nazionale in zone climatiche	28
---	----

CAPITOLO 2

<i>Fig. 02</i> – Vista aerea dell'intervento edilizio oggetto di studio.....	30
--	----

<i>Fig. 03</i> – Mini data logger Onset Hobo U12-011 Temp / RH.....	33
---	----

<i>Fig. 04</i> – Curva di carico giornaliera l'illuminazione (fonte: Progetto MICENE, 2003).....	41
--	----

<i>Fig. 05</i> – Curva di carico giornaliera per la lavatrice (fonte: Progetto MICENE, 2003)	42
--	----

<i>Fig. 06</i> – Posizionamento delle sonde termoflussimetriche interne ed esterne	48
--	----

<i>Fig. 07</i> – Identificazione Black-box attuata mediante software STUBB	50
--	----

<i>Fig. 08</i> – App. 77: Termografie del sistema radiante a pavimento e dei collettori.....	51
--	----

CAPITOLO 5

<i>Fig. 09</i> – Schema di funzionamento di EnergyPlus.....	86
---	----

INDICE DEI GRAFICI

CAPITOLO 2

Grafico 01 – Differenze tra Anni Tipo e temperature medie mensili ufficiali per Milano..... 45

Grafico 02 – Differenze tra Anno Reale e Anno Tipo CNR rispetto alle medie ufficiali 47

CAPITOLO 3

Grafico 03 – Confronto EP_H da simulazioni, monitoraggio e ACE (periodo invernale)..... 58

Grafico 04 – Confronto ET_C da simulazioni, monitoraggio e ACE (periodo estivo)..... 58

Grafico 05 – Temperature superficiali misurate e calcolate con Anno Tipo “Canadese” 64

Grafico 06 – Temperature superficiali misurate e calcolate con Anno Tipo “ENEA” 64

Grafico 07 – Temperature superficiali misurate e calcolate con Anno Tipo a confronto 65

Grafico 08 – Temperatura ambientale e temperatura sup. esterna (TRY “Canadese”)..... 66

Grafico 09 – Temperatura ambientale e temperatura sup. esterna (TRY “ENEA”)..... 66

Grafico 10 – Temperatura ambientale reale e temperatura sup. esterna (Valori misurati)..... 66

Grafico 11 – Temperatura ambientale esterna e temperatura superficiale interna 67

CAPITOLO 4

Grafico 12 – Dispersione dei consumi per i blocchi residenziali 1 e 2 70

Grafico 13 – Indici di prestazione e setpoint reali per il campione d’analisi 72

Grafico 14 – App. 3: consumi stagionali estivi in funzione del setpoint..... 78

Grafico 15 – App. 54: consumi stagionali estivi in funzione del setpoint..... 79

Grafico 16 – App. 95: consumi stagionali estivi in funzione del setpoint..... 79

Grafico 17 – Linea di tendenza generale dei consumi in funzione del setpoint 82

Grafico 18 – Curva reale e teorica a confronto..... 83

ABSTRACT

Il presente lavoro si pone come logica prosecuzione di due campagne di monitoraggio invernale ed estivo condotte nel corso del 2011 dal Dipartimento BEST del Politecnico di Milano, in appartamenti campione di un grande intervento edilizio di classe A ($EP_H = 27,1$ kWh/m²anno) sito nel capoluogo lombardo. Obiettivo dichiarato è stato quello di confrontare le prestazioni reali, così come rilevate e successivamente normalizzate, con gli indici di prestazione riportati nell'Attestato di Certificazione Energetica. In estrema sintesi, detti studi hanno restituito un'immagine positiva e coerente del sistema analizzato, dimostrandone l'effettivo valore aggiunto rispetto a soluzioni tradizionali. Tuttavia, soprattutto per quanto concerne il periodo estivo, i consumi di diversi appartamenti sono risultati disallineati rispetto ai valori mediamente rilevati. Ciò ha suggerito l'idea che la vera incognita per la definizione delle prestazioni degli edifici di classe A sono, non già le caratteristiche costruttive, quanto piuttosto le modalità con cui l'utenza gestisce la climatizzazione, e che, pertanto, data l'esiguità del Δ termico tra interno ed esterno, bastino piccolissime variazioni sulla temperatura di setpoint per determinare crescite esponenziali nella contabilizzazione dei consumi stagionali. Dunque, attraverso l'uso di modelli di simulazione in regime dinamico, è stata ricostruita una curva teorica di crescita dei consumi per il condizionamento estivo in funzione della temperatura di setpoint, che dimostrasse l'idea originaria e che al contempo permettesse di risalire, se pur con le dovute precauzioni, alla temperatura interna di tutte le unità residenziali presenti nell'intervento edilizio studiato.

INTRODUZIONE

Obiettivi della tesi

Nonostante le forti inflessioni registrate negli ultimi anni dall'economia non solo nazionale o europea, ma anche e soprattutto mondiale, continuiamo a vivere in un'epoca che fa del consumo/abuso di energia il motore trainante del proprio sviluppo economico, scientifico, tecnologico e culturale. Del resto è sotto gli occhi di tutti: non esiste attività umana che non richieda dispendio di risorse per essere portata a compimento e la definizione fisica di *Lavoro* è sempre lì, pronta a ricordarcelo. In tale quadro, certo parziale e ampiamente approfondibile, appare tuttavia evidente come la grande sfida del nuovo millennio si giochi interamente intorno al tema dell'energia – pulita, rinnovabile, efficiente e a basso costo – nella sua duplice veste dell'*approvvigionamento* e del *miglior uso*.

Il settore delle costruzioni non esula da questo ragionamento. Anzi. Esso rappresenta forse meglio di tanti altri l'esempio più lampante e attuale rispetto alle reali possibilità di razionalizzazione nel consumo di risorse, in compatibilità con le esigenze di progresso (e benessere) tipiche della cultura occidentale. Ciò può essere imputabile, almeno in prima battuta, a motivazioni di ordine tecnico, produttivo e mediatico. Senza dilungarsi oltre, ci si limita qui a ricordare come un qualsiasi sistema edilizio, in quanto *complesso di elementi che, mantenendo le proprie caratteristiche, formano un tutto organico, integrandosi a vicenda*¹, chiami in causa discipline e settori tra loro anche estremamente eterogenei, mobilitando di fatto una gran quantità di risorse e generando, invero, una moltitudine di interessi puntuali. Può sembrare lapalissiano, ma forse è proprio da tale complessità che può essere declinato il notevole interesse che negli ultimi anni riveste il tema della sostenibilità ambientale nel mondo delle costruzioni, portando definizioni quali “certificazione energetica”, “sviluppo sostenibile”, “energie rinnovabili” ecc. ad esser comunemente usate anche dai non addetti ai lavori. Ormai ci sentiamo tutti più “green” ed è innegabile il ruolo positivo e propositivo (se pur non sempre coerente) che hanno avuto istituzioni e mezzi di informazione nell'attuazione di questo inevitabile processo di trasformazione.

Quel che è certo è che la certificazione energetica degli edifici è diventata, seppur tra particolarismi locali legati alla concorrenzialità tra Stato e Regioni del tema *Energia*, ed ambiguità legislative tuttora irrisolte, una realtà concreta e largamente diffusa, tanto da

¹ Grande Dizionario Hoepli – Dizionario della Lingua Italiana, a cura di Aldo Gabrielli, Hoepli, 2011.

incidere notevolmente sul valore di mercato di un immobile. Quest'ultimo punto ha invero stimolato, soprattutto in quelle Regioni che hanno giocato d'anticipo rispetto al D.lgs. 19 agosto 2005, n. 192, emanato in attuazione della Direttiva 2002/91/CE, una vigorosa produzione di edifici ad alte prestazioni ($EP_H < 29 \text{ kWh/m}^2\text{anno}$). Tuttavia, seppur il modello di calcolo adottato per la determinazione della classe energetica ne contempra la definizione, non esistono indici di prestazione minimi da garantire per il periodo estivo, né tantomeno sono presenti, allo stato attuale dell'arte, studi di settore atti a comprendere il comportamento del sistema edificio per la stagione calda.

Il presente lavoro si pone dunque come logica prosecuzione di due campagne di monitoraggio invernale ed estivo condotte nel corso del 2011 in appartamenti campione di un grande intervento edilizio di classe A ($EP_H = 27,1 \text{ kWh/m}^2\text{anno}$) sito nel capoluogo lombardo. Obiettivo di dette campagne (coordinate dal prof. Giuliano Dall'Ó del Dipartimento BEST del Politecnico di Milano) è stato quello di confrontare le prestazioni reali, determinate sulla base di consumi mensili e parametri ambientali misurati, con quanto dichiarato nell'Attestato di Certificazione Energetica. Tuttavia, per quanto concerne il periodo estivo, nonostante la fotografia generalmente positiva restituita dalla rielaborazione dei dati acquisiti per il campione d'analisi, i consumi di diversi appartamenti non direttamente monitorati sono apparsi disallineati rispetto ai valori mediamente rilevati. Ciò ha suggerito l'idea che la vera incognita per la definizione delle prestazioni degli edifici di classe A sono, non già le caratteristiche costruttive, quanto piuttosto le modalità con cui l'utenza gestisce la climatizzazione. Pertanto, assunta a dato oggettivo l'esiguità del Δ termico tra interno ed esterno, vi è la ragionevole certezza che bastino piccolissime variazioni sulla temperatura di setpoint per determinare crescite esponenziali nella contabilizzazione dei consumi stagionali. Dunque, attraverso l'uso di modelli di simulazione in regime dinamico (capaci cioè di considerare l'andamento dei fenomeni termo-fisici che si generano in un edificio in funzione della variabile *tempo*) e implementati a partire dalle caratteristiche note degli appartamenti costituenti il campione d'analisi originario, si vuole ricostruire una curva teorica di crescita dei consumi per il condizionamento estivo che:

- quantifichi le differenze percentuali dell' ET_C che si ottengono con variazioni progressive della temperatura di setpoint di $\pm 1^\circ\text{C}$ rispetto a quella standard di 26°C ;
- permetta di risalire, se pur con le dovute precauzioni, alla temperatura interna di tutte le unità residenziali presenti nell'intervento edilizio studiato;
- conservi un discreto carattere di generalità, tale da renderne possibile l'applicabilità a casi assimilabili per caratteristiche costruttive, impiantistiche e localizzative.

Motivazioni

L'apparato normativo attualmente in essere prevede che tutte le nuove costruzioni vengano realizzate rispettando parametri di efficienza energetica ben definiti e certificati attraverso apposita procedura di calcolo operante in regime stazionario, così come mutuata dalla norma UNI TS 11300-1. Tuttavia, alla stregua di ogni modello che adotta siffatta semplificazione procedurale, essa è in grado di restituire solo ed esclusivamente informazioni "da laboratorio": valide, cioè, per fornire indicazioni assolute circa le caratteristiche intrinseche di un dato edificio, ma totalmente inadatte per descriverne il comportamento nel suo continuo processo di relazione con l'ambiente circostante da un lato, e l'utilizzatore finale dall'altro.

Ciò è più che mai vero per la stagione estiva, in quanto, a differenza di quanto avviene per quella invernale, non esiste alcun vincolo normativo che identifichi le prestazioni energetiche minime da rispettare in caso di nuova costruzione, seppur i sistemi di condizionamento stiano conoscendo una rapidissima diffusione. Questo evidente limite della certificazione energetica degli edifici, per contro, ha fatto sì che tutta la ricerca sul comportamento del sistema edificio venisse rivolta al solo periodo invernale. Un non senso se solo si pensa che:

- la sottrazione di calore è un processo energeticamente più dispendioso rispetto alla somministrazione, e si scontra inevitabilmente con il minor rendimento dei sistemi termici (generatore più terminali);
- l'esiguità del Δ termico tra interno ed esterno fa sì che tanto i consumi quanto il benessere ambientale percepito giochino la loro partita su piccolissime differenze di temperatura (spesso dell'ordine di 1°C), per le quali aumentano le difficoltà di controllo, rendendo di fatto determinanti le modalità di gestione sistemica.

Non bisogna peraltro dimenticare che gli edifici ad alte prestazioni e caratterizzanti, come da norma, tutta la recente produzione edilizia, creano nell'utenza elevate aspettative di efficienza energetica e di comfort interno, spesso ignorando, tuttavia, che, garantite le caratteristiche sistemiche, diviene poi necessario condurre la propria "macchina" con coscienza e razionalità.

Da quanto detto, l'idea del presente lavoro, ovvero verificare, a mezzo di simulazioni in regime dinamico, in che modo la gestione di spazi e sistemi da parte dell'utenza incida oggettivamente sui consumi di un grande insediamento residenziale di Classe A, di cui sono note le effettive prestazioni stagionali. Pertanto si tiene a far notare come, allo stato attuale dell'arte, non esistono ancora elaborazioni scientificamente valide che mettano al contempo in relazione performance energetiche teoriche con quelle reali puntualmente rilevate.

Definizione dell'approccio metodologico

La definizione dell'approccio metodologico che ha guidato lo sviluppo del presente lavoro ha tratto spunto dalle campagne di monitoraggio Invernale ed Estivo condotte dal prof. Giuliano Dall'Ó e collaboratori rispettivamente in 19 e 3 appartamenti di Classe Energetica A. Finalizzato al confronto tra il consumo energetico reale, quello normalizzato e i fabbisogni di energia stagionali ufficialmente dichiarati nell'Attestato di Certificazione Energetica, gli studi in questione hanno fornito una prima serie di dati oggettivati con cui confrontare i risultati ottenuti dalle simulazioni in regime dinamico per le medesime unità abitative.

Il campione d'analisi processato con EnergyPlus e costituito da quattro appartamenti rispettivamente ubicati ai piani Terra, Quarto e Sottotetto di un intervento residenziale costituito da 196 subalterni nella periferia Ovest di Milano, è stato composto in funzione dell'orientamento, della superficie e della posizione relativa degli stessi. Obiettivo primario da garantire era l'omogeneità e quindi la diretta confrontabilità dei suoi elementi costituenti. Per ogni unità abitativa, dunque, son stati definiti tre diversi livelli di dettaglio, al fine di poter quantificare con precisione l'influenza della capacità termica degli elementi di partizione interna, da un lato; avere dei parametri oggettivi che permettano di definire fino a che punto convenga dettagliare il modello dall'altro.

Ulteriori grandezze di confronto rispetto a quelle fornite dalla campagna di monitoraggio sono state individuate nei risultati ottenuti da prove empiriche condotte in loco. Come si avrà modo di spiegare nel prosieguo della trattazione, è stato posizionato, all'interno di uno dei quattro appartamenti in esame, un termoflussimetro "a tre sonde", per mezzo del quale è stato possibile determinare conduttanza e flusso di calore (normalizzati poi con metodo Black Box) attraverso una parete di tamponamento, nonché le relative temperature superficiali sia interna che esterna. Con l'ausilio di una termocamera, inoltre, è stato possibile valutare l'effettiva distribuzione del sistema di riscaldamento/condizionamento a pannelli radianti a pavimento. I parametri tra loro omogenei e ottenuti rispettivamente dalle campagne di monitoraggio, dalle simulazioni in regime dinamico e dalle prove di carattere empirico, sono stati quindi reciprocamente confrontati, al fine di determinare lo scostamento medio tra quanto rilevato e quanto calcolato, avendo comunque, quali parametri fissi di raffronto, gli indici di prestazione ufficialmente depositati attraverso l'Attestato di Certificazione Energetica. Queste operazioni, pertanto, sin son dimostrate necessarie per allineare i modelli computati per l'esecuzione delle simulazioni alle reali condizioni in cui le unità monitorate si son trovate ad operare, cosicché fosse poi possibile sviluppare la seconda parte del presente lavoro.

Con riferimento al periodo estivo, quindi, per il quale minori sono le conoscenze circa il comportamento degli edifici, se pur la campagna di monitoraggio condotta ha di fatto evidenziato livelli prestazionali generalmente molto elevati, permangono tuttavia numerose unità residenziali i cui consumi rilevati appaiono ben diversi dal valore atteso e ad esso difficilmente riconducibili. Dunque, al fine di verificare le reali motivazioni che stanno alla base di detta dispersione e comunque per dimostrare il ruolo determinante che l'utenza ha sulle prestazioni del sistema in fase di condizionamento, si è ritenuto utile usare le simulazioni in regime dinamico per determinare la variazione assoluta dei consumi in funzione della variazione della temperatura di setpoint adottata di $\pm 1^\circ\text{C}$ rispetto a quella standard di 26°C e ricreare così una curva teorica tale da ricollegare gli indici di prestazione puntualmente individuati a una data temperatura ambientale interna. Per far ciò, il campione d'analisi parametrizzato in modelli di calcolo è stato studiato per rotazioni progressive di 90° in modo tale che fosse possibile tener conto dell'orientamento nell'ottenimento dei risultati. Detta curva è stata quindi confrontata con quella empiricamente determinata sulla base della temperatura ambiente rilevata con i mini data logger all'interno degli appartamenti costituenti il campione d'analisi e dei relativi consumi stagionali.

In ultima istanza, credo che sia opportuno sottolineare come l'approccio metodologico appena esposto non sia stato ancora ufficialmente tentato. Ciò fa sì che i risultati conseguiti diventino a tutti gli effetti un piccolo, ulteriore tassello nella conoscenza, non solo dei modelli di simulazione in regime dinamico, ma anche e soprattutto per la definizione del comportamento estivo di unità residenziali ad alte prestazioni, per il quale ancora moltissimo lavoro vi è da fare.

CAPITOLO 1

EDILIZIA ED ENERGIA

1.1. La questione energetica. Inquadramento generale²

Nel gennaio del 1991 entrò in vigore la legge 10³, contenente le “norme per l’attuazione del piano energetico nazionale in materia di uso razionale dell’energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia”. Di per sé, era un’ottima legge, che anticipava i tempi rispetto a quanto stava avvenendo in Europa, riguardo al contenimento dei consumi energetici nell’ambiente costruito, e introduce, tra le altre cose, la certificazione energetica degli edifici, i piani energetici comunali, l’obbligo delle fonti energetiche rinnovabili negli edifici pubblici. Tuttavia, questo suo stato d’avanguardia venne presto disatteso in quanto, da un lato era colma di rimandi a presunti decreti attuativi da emanarsi entro 180 giorni dall’entrata in vigore della legge 10 al fine di renderla operativa; dall’altro non erano previste sanzioni per chi non la rispettava in uno o più dei suoi punti. Passarono altri due anni e venne messo alla luce il decreto 412⁴ che conteneva le “norme per la progettazione, l’installazione, l’esercizio degli impianti termici degli edifici ai fini del contenimento dei consumi di energia”. Un sostanziale buco nell’acqua.

Venne poi il dicembre 2002, quando fu pubblicata la direttiva comunitaria 2002/91/CE sul rendimento energetico in edilizia, la quale metteva a disposizione tre anni per la relativa adozione a livello nazionale in tutti gli Stati membri (la scadenza venne fissata nel 4 gennaio 2006). L’aspetto sicuramente interessante di questa direttiva era che non riguardava il solo riscaldamento invernale, ma poneva l’attenzione anche sulla produzione di acqua calda sanitaria, l’illuminazione, la ventilazione e il condizionamento estivo. Con il decreto legislativo 15 agosto 2005, n. 192⁵, l’Italia ha recepito molto tardi e in maniera piuttosto raffazzonata la 2002/91/CE, disattendendo ancora una volta le aspettative in merito di efficienza energetica nel settore immobiliare, che nel frattempo erano diventate molto elevate.

² Il capitolo 1.1 è un adattamento della prefazione al libro “Manuale della certificazione energetica”, a cura di G. Dall’Ó, M. Gamberale e G. Silvestrini. Edito da Edizioni Ambiente, Milano (2010).

³ Legge 9 gennaio 1991, n. 10 – Norme per l’attuazione del Piano energetico nazionale in materia di uso razionale dell’energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia.

⁴ D.P.R. 26 agosto 1993, n. 412 – 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 L. 9 gennaio 1991, n. 10.

⁵ D.lgs. 19 agosto 2005, n. 192 – Attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell’edilizia.

Bisogna infatti aver ben presente che nel 2005⁶ i settori residenziale e terziario assorbivano complessivamente il 32% dei consumi energetici nazionali. Di questa quota, solo il 35% è ascrivibile al terziario, seppur risulti di fatto in continuo e costante aumento. Se si considerano invece i soli consumi elettrici, è il terziario a prevalere, con un carico del 53% agente sul totale e anche questo in continua crescita.

Entrando nel dettaglio del settore residenziale, il riscaldamento è la principale causa di consumo (68%), seguito dagli usi elettrici obbligati (16%), dalla produzione di acqua calda sanitaria (11%) e dalla cucina (5%). Dal confronto con gli anni immediatamente antecedenti si manifesta un aumento della quota relativa ai consumi elettrici, malgrado il notevole miglioramento dell'efficienza degli elettrodomestici. Ciò può essere attribuito, in prima battuta, sia alla crescente diffusione degli impianti di condizionamento (a livello europeo l'Italia detiene il primato per il numero di metri quadrati condizionati, seguita dalla Spagna), sia a una logica perversa legata proprio all'aumento delle prestazioni degli apparecchi elettrici del tipo "consuma di meno, uso di più".

In un simile contesto, come si comportano rispettivamente il d.lgs. 192/2005 e il successivo 311/2006⁷? Semplicemente con una debole azione di contenimento dei consumi per il riscaldamento, ignorando condizionamento, illuminazione e ventilazione. Solo per quanto riguarda la produzione di ACS è riscontrabile una pur debole apertura verso il solare termico. Pertanto non si fa alcun tipo di distinzione tra edilizia residenziale e per il terziario.

I decreti, infine, non sono supportati da alcuno studio sulla distribuzione nazionale degli attuali consumi, né, tantomeno, da uno studio prospettico sul loro andamento o sulle eventuali previsioni in merito alle potenziali riduzioni derivanti dall'applicazione sistematica dei decreti. In assenza di una scelta politica che indichi chiaramente quali siano gli obiettivi di risparmio energetico da conseguire sul lungo periodo, non si capisce per quale ragione siano stati scelti quei valori limite di consumo e non altri – lasciando intendere di fatto una certa casualità nelle decisioni effettuate in merito a un tema sensibile e strategico quale è quello dell'energia.

Pertanto ciò che più colpisce e delude è l'impianto stesso del decreto, che denuncia, oltre a una apparente sudditanza agli interessi particolari di alcune lobby industriali e professionali, un approccio obsoleto e poco efficace al problema del contenimento dei consumi energetici nell'edilizia.

⁶ Tutti i dati che verranno forniti sino allo fine del capitolo in oggetto sono stati tratti da: ENEA, Rapporto Energia e Ambiente 2005.

⁷ D.lgs. 29 dicembre 2006, n. 311 – 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.

1.2. Unione Europea e risparmio energetico

È indubbio che quella che potremmo definire la rivoluzione energetica nel nostro Paese (a tratti incoerente, ma non per questo immaginaria) poggia le sue radici in una ben definita politica di sviluppo avviata dall'Unione Europea da ormai più di dieci anni. Ivi è forte la consapevolezza di come la questione energetica, al di là dei possibili fronzoli (certo importanti, ma pur sempre da declinare concretamente nelle sue molteplici sfumature) della sostenibilità ambientale, sia a tutti gli effetti un problema comune di carattere strategico che deve essere affrontato da tutti i membri UE secondo il *principio di sussidiarietà*.

Questo sottocapitolo vuol brevemente ripercorrere le tappe fondamentali che hanno segnato l'evoluzione normativa comunitaria nella direzione di una maggior consapevolezza e del risparmio energetico – determinando così le azioni intraprese in merito dagli Stati membri, Italia compresa.

Tab. 01 – Le tappe fondamentali dell'evoluzione normativa nell'Unione Europea

Libro verde “verso una strategia europea di sicurezza dell’approvvigionamento energetico”

Pubblicato nel 2000, può essere considerato il precursore, nonché il fondamento tecnico-scientifico della successiva direttiva 2002/91/CE. Il tema base è quello dell'approvvigionamento energetico, inteso come problema di ordine politico e strategico, prima ancora che economico. Il principio cardine del documento è quello di promuovere una strategia di gestione dei consumi sul lato della domanda al fine di ridurre gli elementi di criticità ed invero entrare in una situazione di maggiore stabilità, sia sul piano politico che su quello economico, per una minor dipendenza energetica dell'Unione Europea dai paesi esteri.

Direttiva 2002/91 CE del 16 Dicembre 2002 sul Rendimento energetico nell’edilizia

Nota anche come EPBD (Energy Performance Building Directive), promuove l'efficienza energetica degli edifici nel settore civile. I punti salienti che caratterizzano questa Direttiva sono:

- definizione di una procedura di calcolo del rendimento energetico integrato degli edifici;
- indicazione dei requisiti minimi sul rendimento energetico degli edifici di nuova costruzione o soggetti a importanti ristrutturazioni;
- introduzione della certificazione energetica degli edifici;
- introduzione dell'ispezione periodica delle caldaie e dei sistemi di condizionamento d'aria negli edifici.

Secondo Libro verde sull’efficienza energetica “fare di più con meno”

Il secondo Libro verde sull'efficienza energetica del 2005 si pone l'obiettivo di individuare nuove possibili strategie per l'Unione Europea.

Direttiva 2006/32 CE del 5 aprile 2006 sull’efficienza degli usi finali dell’energia

Scopo della direttiva è quello di migliorare l'efficienza degli usi finali dell'energia negli Stati Membri sotto il profilo costi/benefici. A tal fine, fornisce dunque alcuni obiettivi indicativi, nonché i meccanismi, gli incentivi e il quadro istituzionale, finanziario e giuridico necessari a eliminare le barriere e le imperfezioni esistenti sul mercato. Obiettivo: creare le condizioni per lo sviluppo e la promozione di un mercato dei servizi energetici di livello comunitario.

Direttiva 2009/28 CE del 23 aprile 2009 sulla promozione dell'uso di energia da fonti rinnovabili

Attraverso la seguente direttiva, che istituisce un quadro comune per la produzione di energia da fonti rinnovabili, l'Unione Europea:

- fissa obiettivi nazionali obbligatori per la quota complessiva di energia prodotta da fonti rinnovabili sui consumi finali lordi, tanto nell'edilizia quanto nei trasporti;
- detta norme relative al trasferimento di dati statistici tra gli Stati membri, alle modalità di istituzione di progetti comuni interni ed esterni all'Unione, alle garanzie di origine, alle procedure amministrative, all'informazione e alla formazione, nonché all'accesso alla rete elettrica per l'energia da fonti rinnovabili;
- fissa criteri di sostenibilità per la produzione di biocarburanti.

Direttiva 2009/125 CE del 21 ottobre 2009 per l'elaborazione di specifiche per la progettazione ecocompatibile dei prodotti connessi all'energia

Attraverso la presente direttiva, l'Unione Europea fissa dei criteri di conformità atti a limitare la libera circolazione di merci sul mercato degli Stati membri. Tra le novità, viene introdotta la definizione di *prodotto connesso all'energia*, intendendo con ciò qualsiasi bene che abbia un impatto diretto sui consumi energetici durante il suo utilizzo. Alla base di questa presa di posizione vi è la convinzione che la maggior parte dei prodotti connessi all'energia presentano di fatto notevoli margini di miglioramento in termini di riduzione dell'impatto ambientale e di risparmio energetico, da conseguirsi a mezzo di una miglior progettazione. Da notare, infine, che la direttiva estende tutti i provvedimenti ivi contemplati anche ai materiali da costruzione che direttamente o indirettamente sono connessi all'uso di energia.

Direttiva 31/2010 CE del 19 maggio 2010 sulla prestazione energetica nell'edilizia

Revisione della EPBD, questa direttiva accelera ulteriormente il cambiamento nel settore edilizio nella direzione di una maggiore efficienza, fornendo chiarimenti utili rispetto al percorso già intrapreso e rafforzandone i principi, a partire dall'ampliamento del parco edifici sui quali applicare le nuove regole. A tal proposito, infatti, la discriminante della superficie utile viene ridotta da 1.000 a 250 m². Pertanto, viene rafforzato lo strumento della certificazione energetica attraverso il concetto dell'indipendenza dei certificatori rispetto ai progettisti, nonché viene posta in evidenza la necessità di una maggiore incidenza delle azioni di controllo sui certificati emessi.

Tuttavia la 31/2010 CE è soprattutto nota come la normativa degli Zero Energy Building, in quanto, con il relativo articolo 9, stabilisce che tutti gli Stati membri:

- provvedano affinché entro il 31 dicembre 2020 tutti gli edifici di nuova costruzione siano "a energia quasi zero" e, a partire dal 31 dicembre 2018, tutti gli edifici di nuova costruzione che fanno capo ad enti pubblici siano "a energia quasi zero";
- elaborino piani nazionali atti ad aumentare il numero di edifici a energia quasi zero.

Entro la fine del 2015, dovranno inoltre essere definiti obiettivi intermedi di miglioramento delle prestazioni energetiche degli edifici di nuova costruzione.

Piano di efficienza energetica 2011

Emanato nel marzo 2011, nasce come "Comunicazione della Commissione al Parlamento europeo, al Consiglio economico e sociale europeo e al Comitato delle regioni" e ribadisce l'importanza di raggiungere entro il 2020 un risparmio del 20% sul consumo energetico dell'UE. Tuttavia, pur constatando i notevoli sforzi compiuti da tutti gli Stati membri per riformare tanto il mercato degli elettrodomestici, quanto quello dell'edilizia, detto Piano mette in evidenza l'impossibilità sostanziale di raggiungere se non la metà degli obiettivi preposti.

Secondo l'analisi fatta, il maggiore potenziale di risparmio energetico, è insito nel settore edilizio. Pertanto, il Piano promuove il ruolo di *exemplum* della P.A., vincolandola tanto all'introduzione di ben definiti criteri di efficienza energetica da identificarsi all'interno della spesa pubblica, quanto al rinnovamento annuale di almeno il 3% del portafoglio edilizio in suo possesso.

1.3. Legislazione Nazionale

L'Italia, prima della Direttiva EPBD, ha una sua legislazione costituita dalla Legge 10/91 e dei successivi Decreti attuativi. La modifica del Titolo V della Costituzione introdotta con la Legge 3/01⁸ rende l'energia materia concorrente tra Stato e Regioni. Il recepimento della Direttiva EPBD avviene quindi in modo non uniforme. Il D.lgs 192/05, la Legge che recepisce la Direttiva a livello nazionale (integrata dal D.lgs 311/06), conferma questa possibilità nell'articolo 17 (Clausola di cedevolezza) dove si afferma che le Regioni possono recepire la Direttiva in modo autonomo mantenendo solo il vincolo del rispetto dell'ordinamento comunitario, dei principi fondamentali del D.lgs 192/05 oltre che della Direttiva 91 – cosa che di fatto alcune Regioni fanno. Tra queste possiamo annoverare la Lombardia, la Liguria, l'Emilia Romagna, il Piemonte e, tra le altre, la Provincia Autonoma di Bolzano. La tabella che segue mostra tutta la complessità del quadro normativo nazionale.

Tab. 02 – Sintesi del quadro di riferimento nazionale sul tema dell'efficienza energetica in edilizia.

<i>Legge 9 gennaio 91, n. 10 e decreti attuativi (412/93, 551/99)</i>
Norme per l'attuazione del Piano energetico nazionale in materia di uso razionale dell'energia, risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia.
<i>D.lgs 31 marzo 98, n. 112</i>
Conferimento di funzioni e compiti amministrativi dello Stato alle regioni ed agli enti locali, in attuazione del capo I della legge 15 marzo 1997, n. 59.
<i>Legge Costituzionale 18 ottobre 2001, n. 3</i>
Modifiche al titolo V della parte seconda della Costituzione (l'energia diviene materia concorrente tra Stato e Regioni).
<i>Legge 31 ottobre 2003, n. 309</i>
Delega al recepimento della Direttiva 2002/91/CE.
<i>Legge 23 Agosto 2004, n. 239</i>
Riordino del settore energetico, nonché delega al Governo per il riassetto delle disposizioni vigenti in materia di energia.
<i>D.lgs 19 agosto 2005, n. 192</i>
Recepimento Nazionale della Direttiva 2002/91/CE.
<i>D.lgs 29 dicembre 2006, n. 311</i>
Integrazioni e modifiche del D.lgs 192/05.

⁸ Legge costituzionale 18 ottobre 2001, n. 3 “Modifiche al titolo V parte seconda della Costituzione” pubblicata nella G.U. n. 248 del 24 ottobre 2001.

D.lgs 8 febbraio 2007, n. 20

Attuazione della direttiva 2004/8/CE sulla promozione della cogenerazione basata su una domanda di calore utile nel mercato interno dell'energia, nonché modifica alla direttiva 92/42/CE.

D.lgs 30 maggio 2008, n. 115

Recepimento della Direttiva 2006/32/CE.

L. 6 agosto 2008, n. 133

Abrogazione di alcuni articoli sulla certificazione contenuti nel D.lgs 192/05: la consegna del certificato energetico non è più obbligatoria e la mancanza del certificato non è più motivo per l'annullamento dell'atto.

D.P.R. 59/09

Regolamento di attuazione dell'articolo 4, comma 1, lettere a) e b) del D.lgs 19 agosto 2005, n. 192, concernente l'attuazione della direttiva 2002/91/CE sul rendimento energetico in edilizia.

D.M. 26 giugno 2009

Linee guida nazionali sulla certificazione energetica valide per tutte le Regioni o Province Autonome che non si sono ancora espresse con una legislazione autonoma.

D.lgs 16 febbraio 2011, n. 15

Attuazione della direttiva sull'ecodesign 2009/125/CE degli Energy-related Products.

D.lgs 3 marzo 2011, n. 28

Attuazione della direttiva 2009/28/CE sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili.

D.M. 5 maggio 2011

Stabilisce i criteri per incentivare la produzione di energia elettrica da impianti solari fotovoltaici e lo sviluppo di tecnologie innovative per la conversione fotovoltaica ed attua il quarto Fondo Energia.

D.M. 4 agosto 2011

Sostituisce e integra precedenti disposizioni in materia di cogenerazione. Con il decreto, che allinea le regole CAR, a quanto disposto dalla Direttiva 2004/8/CE e dal D.lgs. n. 20 del 2007, si compie un importante passo verso la definizione del quadro normativo per la promozione della cogenerazione, che sarà prossimamente completato con il decreto, in via di approvazione, sui meccanismi incentivanti.

D.M. 5 settembre 2011

Definisce il regime di sostegno, previsto dalla Legge 09/99 (articolo 30, comma 11), per la cogenerazione ad alto rendimento.

Come si può notare, a livello nazionale la situazione è decisamente frammentata: anche se i numeri dicono che l'Italia è tra i paesi europei ad avere attuato la certificazione energetica con maggiore determinazione, è insostenibile un mercato immobiliare nel quale le regole sulla certificazione, strumento fondamentale per esprimere la qualità energetica degli edifici e

quindi per stimolare il mercato, non siano condivise a livello nazionale. Tra le cose ancora da fare per completare il percorso verso il totale recepimento della direttiva EPBD possiamo senz'altro evidenziare:

- una definizione della figura del certificatore a livello nazionale che dovrebbe essere fatta attraverso un Decreto legislativo (nel transitorio il riferimento legislativo resta il D.Lgs 115/08⁹, Attuazione della Direttiva 2006/32/CE relativa all'efficienza degli usi finali dell'energia e i servizi energetici);
- le Regioni che non hanno ancora emanato una legge autonoma di recepimento della Direttiva 91, e in modo implicito accettano le regole nazionali sulla certificazione, devono comunque provvedere a fornire gli elementi che individuano le procedure di gestione (ad esempio come vengono gestiti gli elenchi dei certificatori, come vengono gestiti i certificati, ecc.).

Anche se il D.M. 26/6/2009¹⁰, che contiene le "Linee guida nazionali sulla certificazione energetica", auspica una convergenza degli approcci regionali, è molto probabile che questo percorso, ammesso che le Regioni lo vogliano attuare, duri parecchi anni. L'attivazione operativa di un osservatorio nazionale, d'altra parte già prevista, aiuterebbe a comprendere gli effetti concreti della certificazione e a correggere le eventuali criticità.

Il D.L. 112/2008¹¹, convertito in legge nella 133 del 2008¹², abroga i commi 3 e 4 dell'art. 6 e i commi 8 e 9 dell'art. 15 del D.lgs 192/05. In particolare i commi abrogati 3 e 4 si riferiscono all'obbligo di allegazione, nel caso di trasferimento a titolo oneroso (art. 6 comma 3) o di locazione (art. 6 comma 4), dell'attestato di certificazione energetica in originale o in copia autenticata. Viene quindi eliminato l'obbligo di allegare l'attestato di certificazione energetica dell'edificio e le relative sanzioni previste (art. 15 commi 8 e 9). Le modifiche al D.lgs 192/05, pertanto, rendono incompatibile l'applicazione della certificazione energetica in Italia rispetto alla direttiva 91. E' per questo motivo che è stata avviata procedura d'infrazione al Governo italiano per il mancato rispetto della stessa.

⁹ Decreto Legislativo 30 maggio 2008, n. 115, Attuazione della direttiva 2006/32/CE relativa all'efficienza degli usi finali dell'energia e i servizi energetici e abrogazione della direttiva 93/76/CEE.

¹⁰ Decreto Ministeriale 26/6/2009 – Ministero dello Sviluppo Economico, Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici (G.U. 10/7/2009 n. 158 – in vigore dal 25/7/2009).

¹¹ Decreto-legge 25 giugno 2008, n. 112 "Disposizioni urgenti per lo sviluppo economico, la semplificazione, la competitività, la stabilizzazione della finanza pubblica e la perequazione Tributaria" pubblicato nella Gazzetta Ufficiale n. 147 del 25 giugno 2008 - Suppl. Ordinario n.152/L.

¹² Legge 6 agosto 2008 n. 133, Conversione in legge, con modificazioni, del decreto-legge 25 giugno 2008, n. 112, recante disposizioni urgenti per lo sviluppo economico, la semplificazione, la competitività, la stabilizzazione della finanza pubblica e la perequazione tributaria.

Nel Dlgs 28/2011¹³ vengono inseriti due nuovi commi: il 2-ter e il 2-quater all'art. 6 del Dlgs 192/05. Il comma 2-quater dispone (recependo la direttiva europea 2010/31), che a decorrere dal 1° gennaio 2012 gli annunci commerciali di vendita di edifici o singole unità immobiliari riportino l'indice di prestazione energetica contenuto nell'ACE. Il nuovo comma 2-ter prevede invece l'inserimento, nei contratti di compravendita o di locazione di singole unità immobiliari, di una "apposita clausola con la quale l'acquirente o il conduttore danno atto di aver ricevuto le informazioni e la documentazione in ordine alla certificazione energetica degli edifici". Per i contratti di locazione, la disposizione si applica solo se gli edifici o i singoli enti immobiliari sono già dotati di ACE (trattasi di immobili oggetto di recente costruzione o compravendita o di interventi per i quali si è usufruito delle detrazioni fiscali del 55%).

Per quanto riguarda invece la più recente direttiva 31, non esistono ancora delle leggi attuative che la recepiscano, anche se è stato avviato da tempo un confronto con le parti interessate non solo a livello nazionale, ma anche europeo.

1.4. Legislazione Regionale

Tra i paesi europei l'Italia è quello in cui si è sviluppato il maggior numero di esperienze locali di certificazione energetica. Se da un lato ciò comporta il rischio di avere in futuro modelli non facilmente confrontabili tra loro, dall'altro il fenomeno può essere visto positivamente come testimonianza di una volontà da parte delle amministrazioni di promuovere concretamente la certificazione come strumento strategico per contribuire a ridurre i consumi di fonti fossili destinate alla climatizzazione degli edifici, in particolare nelle aree urbane, e, per converso, l'impatto ambientale.

Queste esperienze di applicazione della certificazione energetica hanno avuto anche il merito di diffondere la cultura dell'efficienza energetica e delle soluzioni tecniche a essa correlate tra gli operatori del settore, costruttori, progettisti e imprese, ma, non ultimo, di stimolare l'interesse da parte dei cittadini che, proprio grazie a queste esperienze, sono diventati più consapevoli della necessità di orientare le scelte di acquisto verso edifici energeticamente più efficienti.

¹³ Decreto Legislativo 3 marzo 2011, n. 28 – Attuazione della direttiva 2009/28/CE sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili, recante modifica e successiva abrogazione delle direttive 2001/77/CE e 2003/30/CE.

Con riferimento alla Regione Lombardia, si può dire che è stata la prima ad avere emanato una propria regolamentazione con carattere di cogenza sulla valutazione delle prestazioni energetiche degli edifici. Non si tratta quindi di un progetto pilota, ma di una vera e propria legge emanata in conformità ai principi fondamentali fissati dalla direttiva EPBD e dal D.lgs 192/2005, successivamente integrato dal D.lgs 311/2006. Con maggior precisione, il riferimento legislativo in oggetto è la L.R. 11 dicembre 2006, n. 24, recante le “norme per la prevenzione e la riduzione delle emissioni in atmosfera a tutela della salute e dell’ambiente”.

La certificazione energetica lombarda diventa dunque operativa con il D.G.R. 26 giugno 2007, n. 8/5018, poi integrato dal D.G.R. 31 ottobre 2007, n. 8/5773. Per i necessari approfondimenti si rimanda ai documenti attuativi precedentemente citati, mentre nel seguito saranno sintetizzate le caratteristiche prime del sistema di certificazione lombardo.

Gli edifici per i quali, a decorrere dal 1° settembre 2007, verrà presentata la denuncia di inizio attività o la domanda finalizzata a ottenere il permesso di costruire per interventi di nuova costruzione, demolizione e ricostruzione in manutenzione straordinaria o in ristrutturazione, ristrutturazione edilizia che coinvolgono più del 25% della superficie disperdente dell’edificio cui l’impianto di riscaldamento è asservito, dovranno essere dotati, al termine dei lavori, dell’Attestato di Certificazione Energetica (o ACE). Con la stessa decorrenza, con onere a carico del proprietario o chi ne ha titolo, gli edifici sottoposti ad ampliamenti volumetrici, sempre che il volume a temperatura controllata della nuova porzione dell’edificio risulti superiore al 20% di quello esistente, devono essere dotati di Attestato di Certificazione Energetica:

- limitatamente alla nuova porzione di edificio, se questa è servita da uno o più impianti termici a essa dedicati;
- all’edificio (esistente più ampliamento), se la nuova porzione è allacciata all’impianto termico dell’edificio esistente.

Gli edifici esistenti che non rientrano nel campo di applicazione precedentemente richiamato sono soggetti alla certificazione energetica, secondo le seguenti tappe temporali:

- a decorrere dal 1° settembre 2007, per tutti gli edifici, nel caso di trasferimento a titolo oneroso dell’intero che avvenga mediante la vendita di tutte le unità immobiliari che lo compongono, effettuata con un unico contratto. Qualora l’edificio oggetto di vendita sia costituito da più unità immobiliari, servite da impianti termici autonomi, è previsto l’obbligo della certificazione energetica di ciascuna unità;

- a decorrere dal 1° settembre 2007 ed entro il 1° luglio 2009, nel caso di edifici di proprietà pubblica o adibiti a uso pubblico, la cui superficie utile superi i 1.000 m²;
- a decorrere dal 1° settembre 2007, l'attestato di certificazione energetica dell'edificio o dell'unità immobiliare interessata è necessario per accedere agli incentivi e alle agevolazioni di qualsiasi natura, sia come sgravi fiscali o contributi a carico di fondi pubblici o della generalità degli utenti, finalizzati al miglioramento delle prestazioni energetiche dell'unità immobiliare, dell'edificio o degli impianti;
- a decorrere dal 1° gennaio 2008, nel caso di contratti "servizio energia", nuovi o rinnovati, relativi a edifici pubblici o privati;
- a decorrere dal 1° luglio 2009, nel caso di trasferimento a titolo oneroso delle singole unità immobiliari;
- a decorrere dal 1° luglio 2010, nel caso di locazione dell'edificio o della singola unità immobiliare.

Nel caso di locazione di edifici o singole unità immobiliari già dotati di Attestato di Certificazione Energetica, l'attestato stesso deve essere consegnato dal proprietario al conduttore, in copia dichiarata conforme all'originale in suo possesso. A partire dal 1° luglio 2010, nel caso di locazione di interi immobili o singole unità immobiliari, l'Attestato di Certificazione Energetica deve essere obbligatoriamente consegnato dal proprietario al conduttore, in copia dichiarata conforme all'originale in suo possesso.

Il proprietario dell'edificio o chi ne ha titolo, prima dell'inizio dei lavori e comunque non oltre 30 giorni dalla data di rilascio del titolo abilitativo, attribuisce a un soggetto certificatore l'incarico di compilare l'Attestato di Certificazione Energetica. L'obbligo è previsto anche nel caso in cui il proprietario sia un ente pubblico.

1.5. La verifica delle prestazioni energetiche oggi

Ad oggi, sulla base di quanto descritto nei precedenti sottocapitoli, la verifica delle prestazioni energetiche degli edifici (o meglio, del loro livello di efficienza energetica) avviene attraverso le procedure di calcolo sottese al rilascio dell'Attestato di Certificazione Energetica. Si tratta, a tutti gli effetti, di modelli fisici semplificati e operanti in regime stazionario, atti a stabilire dei parametri (per quanto possibile) oggettivi e di rapida lettura, tali da favorirne l'agevole confronto soprattutto nelle pratiche di compravendita immobiliare. Ma si proceda con ordine.

Innanzitutto occorre specificare che la certificazione energetica è una procedura che, a mezzo di calcolo standardizzato, e quindi definito a livello nazionale, classifica un qualsiasi edificio all'interno di una scala graduata sulla base delle sue caratteristiche energetiche. Come già accennato in più di un'occasione, infatti, a partire dal D.Lgs 19 agosto 2005, n. 192 e successive modificazioni (emanato in attuazione della direttiva comunitaria 2002/91/CE), le prestazioni energetiche di un qualsiasi edificio, con riferimento al fabbisogno di energia primaria EP_H , devono essere certificate attraverso la verifica di opportuni indicatori atti a definirne la relativa classe di appartenenza energetica. Con il D.Lgs 115/2008, che recepisce la 2006/32/CE, viene a sua volta introdotta la metodologia di calcolo esemplificata dalla norma UNI/TS 11300, quale strumento da adottarsi per il predetto processo di verifica. Con il D.M. 26 giugno 2009¹⁴, infine, ne viene estesa l'obbligatorietà a tutto il suolo nazionale. Tuttavia, nonostante quanto appena detto, ogni Regione ha di fatto la facoltà di elaborare un proprio sistema procedurale per il rilascio dell'Attestato di Certificazione Energetica, fermo restando il rispetto delle *Linee guida nazionali* di cui al D.M. 26 giugno 2009. Non bisogna infatti dimenticare che, a seguito della riforma del Titolo V della Costituzione, tutti gli aspetti direttamente o indirettamente correlati all'uso e alla produzione di energia son divenuti materia concorrente tra Stato e Regioni.

Per quanto concerne la procedura di calcolo sottesa alla valutazione delle prestazioni energetiche di un edificio, è innanzitutto necessario definire un bilancio relativo agli usi energetici considerati ai fini della certificazione. Con maggior precisione, la EPBD prevede di considerare i seguenti usi:

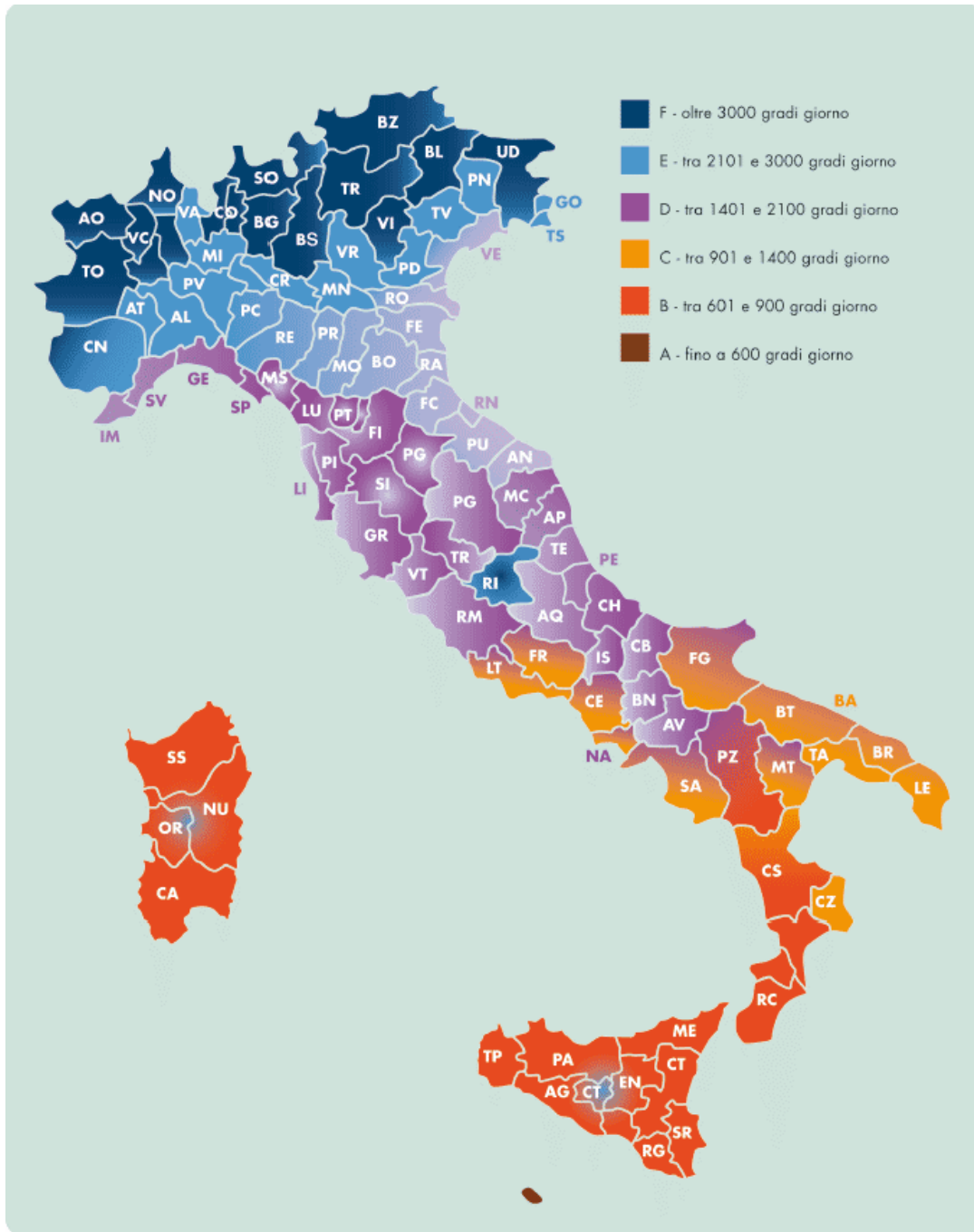
- climatizzazione invernale (riscaldamento);
- climatizzazione estiva (condizionamento);
- ventilazione;
- produzione di Acqua Calda Sanitaria;
- illuminazione.

Occorre tuttavia precisare che gli attuali riferimenti normativi nazionali non consentono di effettuare un calcolo analitico di tutti gli usi energetici previsti dalla EPBD. Pertanto, non risulta possibile, in virtù di ciò, adottare uno schema di certificazione globale.

Ad ogni modo, ai fini della certificazione, i fabbisogni di energia vengono calcolati in condizioni standard, ossia normalizzando tutte le informazioni riguardanti le modalità con le quali l'utenza utilizza gli impianti e, nel caso degli impianti di climatizzazione, ipotizzando che le condizioni climatiche esterne rimangano costanti nel tempo per una stessa località.

¹⁴ D.M. 26 giugno 2009 – *Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici*.

Fig. 01 – Suddivisione del territorio nazionale in zone climatiche in funzione dei Gradi Giorno



È ora opportuno fare una distinzione tra ciò che si considera *fabbisogno energetico*, ovvero la quantità di energia richiesta per soddisfare determinate esigenze, ed *energia primaria*. Nel caso più semplice di un impianto di climatizzazione invernale, il fabbisogno energetico rappresenta la quantità di energia che occorre fornire all'edificio per garantire al suo interno una temperatura costante durante tutta la stagione di riscaldamento. L'energia necessaria a soddisfare il fabbisogno viene fornita all'edificio da un impianto di riscaldamento che, per le sue inefficienze, consuma una quantità di energia maggiore che rappresenta appunto l'energia primaria. La tabella mostra norme e documenti a cui la procedura di calcolo fa riferimento.

Tab. 03 – Norme e documenti di riferimento per la procedura di calcolo sottesa alla certificazione energetica

prEN ISO 13790
Prestazione termica degli edifici – Calcolo del fabbisogno di energia per il riscaldamento e il raffrescamento.
prEN 15316
Impianti di riscaldamento negli edifici – Metodo di calcolo della richiesta di energia e dell'efficienza.
UNI EN ISO 6946
Componenti ed elementi per l'edilizia – Resistenza termica e trasmittanza termica – Metodo di calcolo.
UNI 10349
Riscaldamento e raffrescamento degli edifici – Dati climatici.
CTI sottocomitato n.6, giugno 2003
Raccomandazione per l'utilizzo della norma UNI 10348 ai fini del calcolo del fabbisogno di energia primaria e del rendimento degli impianti di riscaldamento e/o di produzione di acqua calda per usi igienico-sanitari.
CTI 9 febbraio 2007, codice progetto: E02069982
Prestazioni energetiche degli edifici – Climatizzazione invernale e preparazione dell'acqua calda per usi igienico-sanitari. Calcolo del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti.

Ad ogni modo, le classi di efficienza energetica vanno dalla A+ ($< 14 \text{ kWh/m}^2\text{anno}$) alla G ($\geq 175 \text{ kWh/m}^2\text{anno}$) e costituiscono elemento determinante ai fini della definizione del valore di mercato di una data unità immobiliare. Non bisogna dimenticare infatti che l'ACE è un documento che deve essere obbligatoriamente allegato al rogito nell'ambito del trasferimento a titolo oneroso dell'immobile oggetto di compravendita.

A questo punto della trattazione si ritiene opportuno concludere dicendo che la certificazione energetica degli edifici, al di là delle possibili differenze procedurali riscontrabili tra una Regione e l'altra, è uno strumento estremamente importante in quanto, oltre ad attestare il livello di efficienza energetica di un immobile (individuandone pertanto gli eventuali interventi migliorativi effettuabili in vista di una concreta riduzione dei consumi annuali per unità di superficie), rappresenta di fatto un ulteriore strumento di conoscenza del bene da parte del potenziale acquirente. Tuttavia, proprio in virtù del suo essere "strumento di conoscenza", appare assolutamente necessario compiere ulteriori e maggiori sforzi nella direzione dei controlli sugli ACE di volta in volta emessi, al fine di migliorare la trasparenza del mercato immobiliare, da un lato, di non vanificare il raggiungimento degli obiettivi (strategici) cui mira la normativa in essere, dall'altro.

DESCRIZIONE DEL CASO STUDIO

2.1. Localizzazione e caratteristiche energetiche dell'edificio

Realizzato dalla società FILCA Cooperative secondo lo standard interno *BiocasaPiùFilca* ($EP_{H_certificato} = 29 \div 14 \text{ kWh/m}^2\text{anno}$) e ubicato in via Pompeo Marchesi, nella periferia Ovest di Milano, l'intervento edilizio oggetto di studio è costituito da due edifici ad uso residenziale per un totale di 196 appartamenti ed un volume lordo climatizzato di $62'331 \text{ m}^3$.

Con un rapporto S/V (ndr. Superficie Disperdente / Volume Climatizzato) di 0.41, la forma degli immobili, di nove piani fuori terra, può senz'altro definirsi compatta. Inoltre, l'involucro è ottimizzato al fine di ridurre le dispersioni: i valori di trasmittanza delle pareti verticali ($0,268 \text{ W/m}^2\text{K}$), delle coperture ($0,332 \text{ W/m}^2\text{K}$) e dei serramenti ($1,4 \text{ W/m}^2 \text{ K}$) sono ben inferiori rispetto a quanto previsto dalla normativa attualmente in vigore. Il risultato di questi accorgimenti progettuali è pertanto identificabile in fabbisogni di energia primaria EP_H per gli edifici B1 e B2 rispettivamente di $22,25 \text{ kWh/m}^2 \text{ anno}$ e $27,1 \text{ kWh/m}^2 \text{ anno}$.

Fig. 02 – Vista aerea dell'intervento edilizio oggetto di studio in via Pompeo Marchesi, Milano



Oltre alla climatizzazione invernale ed estiva, i servizi offerti ai residenti sono:

- *ventilazione meccanica;*
- *produzione centralizzata di Acqua Calda Sanitaria.*

L'energia necessaria per offrire questi servizi deriva in gran parte da fonti rinnovabili: l'acqua di falda innanzitutto, con la quale le pompe di calore a ciclo reversibile, a mezzo di sonde geotermiche, scambiano energia termica, al fine di garantire, in funzione della stagione, tanto il riscaldamento invernale, quanto la climatizzazione estiva. E poi la radiazione solare, sfruttata sia attraverso il solare termico, per la produzione centralizzata di ACS (180 m² di collettori solari piani), sia attraverso il solare fotovoltaico, per sostenere il fabbisogno di energia elettrica delle apparecchiature poste in centrale (2 campi da 105 moduli, per una potenza totale di picco di 48,3 kW). Si entri maggiormente nel dettaglio.

Con riferimento alla climatizzazione stagionale, questa è garantita, come già accennato, da due pompe di calore reversibili del tipo "acqua-acqua", per una potenza complessiva installata di 800 kW. Durante il funzionamento invernale, queste "prelevano calore", a mezzo di scambiatore, dall'acqua di falda e riscaldano così il contenuto di tre serbatoi inerziali da 9'000 L, a loro volta collegati al circuito di alimentazione dell'impianto di riscaldamento. Le pompe di calore alimentano inoltre il circuito primario di integrazione degli accumuli inerziali dell'Acqua Calda Sanitaria. Durante il periodo estivo, funzionano invece come macchine frigorifere. Ad ogni modo, tanto il riscaldamento invernale quanto il condizionamento estivo degli spazi interni, viene garantito attraverso un sistema di pannelli radianti a pavimento. Due caldaie a condensazione sono inoltre poste a backup per la climatizzazione invernale e come integrazione alla produzione di Acqua Calda Sanitaria nella stagione estiva.

Per quanto concerne la ventilazione meccanica degli edifici, questa viene controllata da ventilatori centralizzati posti in copertura, i quali gestiscono al contempo l'estrazione e l'immissione d'aria all'interno delle diverse unità abitative. Da notare è la distinzione effettuata, lato terminali, tra locali "sporchi", quali bagni e cucina, e locali "puliti": mentre nei primi sono state posizionate bocchette di estrazione autoregolanti, a portata prefissata, nei secondi i ricambi d'aria sono garantiti attraverso bocchette di immissione insonorizzate e installate sui cassonetti.

L'energia termica necessaria alla produzione di ACS, a sua volta, è fornita da un parco solare termico di 180 m² posto in copertura e che alimenta le serpentine immerse in accumuli inerziali per una capacità totale di 15'000 L. Infine, per abbattere ulteriormente il consumo di risorse, ogni unità abitativa è dotata di un sistema individuale di contabilizzazione e gestione (contatori di energia termica/frigorifera e di acqua sanitaria calda/fredda), che permette di regolare la temperatura di ogni ambiente.

2.2. La campagna di monitoraggio invernale

Le attività di monitoraggio delle prestazioni energetiche hanno caratterizzato le realizzazioni di FILCA Cooperative dal momento stesso in cui è nato il progetto Biocasa. Inizialmente si è trattato per lo più di campagne di acquisizione dati sui consumi energetici di combustibile estesi all'intera stagione di riscaldamento. I dati emersi e successivamente pubblicati nel bollettino annuale di FILCA Cooperative sono la testimonianza dell'effettivo valore aggiunto degli edifici con marchio Biocasa rispetto alle costruzioni realizzate secondo standard correnti.

Con riferimento al caso studio, tuttavia, il monitoraggio non è stato condotto, come in passato, dagli stessi costruttori, quanto piuttosto è stato affidato, nel suo sviluppo complessivo, alla direzione del prof. Giuliano Dall'Ó e del suo staff (Dipartimento BEST del Politecnico di Milano). Obiettivo dichiarato era quello di porre in essere un confronto tra i consumi energetici reali su base stagionale e molteplici indicatori che fossero in grado di descrivere le modalità di fruizione degli spazi da parte degli utenti e, per converso, la risposta di immobili e impianti.

Ciò è stato reso possibile grazie alla presenza, all'interno di ogni alloggio monitorato, di un sistema di gestione e contabilizzazione individuale dei consumi, nonostante l'impianto di riscaldamento/condizionamento sia di tipo centralizzato. Le informazioni acquisite e relative ai kWh somministrati ad ogni elemento costituente il campione d'analisi sono dunque estremamente precise. Il periodo preso in considerazione per l'acquisizione dati va dal 21 gennaio 2011 al 7 aprile 2011. È altresì bene precisare come gli appartamenti monitorati (diciannove in tutto) siano stati selezionati sulla base delle seguenti caratteristiche salienti: s.l.p., orientamento, posizione relativa e tipologia.

Come detto, la campagna è stata condotta a partire dall'acquisizione di dati statistici significativi (temperatura e umidità relativa) e rappresentativi dei parametri ambientali riscontrabili all'interno degli appartamenti durante il periodo di riscaldamento invernale, in funzione delle condizioni climatiche al contorno¹⁵ e delle modalità di fruizione degli stessi da parte dell'utenza. Dette rilevazioni sono state eseguite predisponendo all'interno delle singole unità abitative un data logger Hobo U12-011 Temp/RH (piccolo strumento elettronico prodotto dalla Onset Computer Corporation che vanta una sensibilità di misurazione al millesimo).

¹⁵ I principali parametri climatici per il periodo interessato dall'operazione di monitoraggio sono stati richiesti sotto forma di file Excel all'Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente (ARPA) con riferimento alla stazione meteorologica più vicina al luogo oggetto di studio, ovvero quella di piazza Zavattari (Milano).

Fig. 03 – Mini data logger Onset Hobo U12-011 Temp / RH



Tale apparecchio, affinché fosse garantita la genuinità delle acquisizioni in vista delle previste elaborazioni future, ha richiesto una definizione preventiva, a mezzo di riprogrammazione informatizzata, di alcuni semplici parametri, tra i quali ricordiamo:

- il sistema di misurazione di riferimento;
- l'altitudine;
- la frequenza temporale delle rilevazioni e fissata in una rilevazione ogni 15 minuti, per un totale di 96 rilevazioni/giorno;

Tra i punti di cui sopra, particolarmente importante è l'ultimo, in quanto permette di definire, in funzione degli obiettivi reali della ricerca e comunque ancor prima che abbia inizio la prova, la mole di dati da ottenere nell'arco di tempo preventivato. In linea del tutto generale è possibile affermare che la frequenza deve essere inversamente proporzionale alla durata della rilevazione, aumentando di fatto il fabbisogno di elementi di campionamento al ridursi dell'arco di tempo a disposizione.

Il primo passo condotto è stato dunque quello di verificare, mese per mese e per tutti gli appartamenti monitorati, i dati di consumo registrati per le singole utenze durante il periodo interessato dalla prova, ovvero la quantità di calore fornita agli stessi dal sistema di riscaldamento centralizzato. I valori di temperatura e umidità relativa registrati dai mini data logger sono stati quindi trasferiti a mezzo di software proprietario su un PC e ivi elaborati. Detta elaborazione consiste nell'allineare le grandezze acquisite giorno per giorno con quelle fornite dall'ARPA per il medesimo periodo di riferimento e stabilendo, con cadenza temporale di 15 minuti, la differenza di temperatura e umidità relativa tra interno ed esterno.

Si è proceduti dunque col calcolare i *Gradi Giorno normalizzati* (temperatura esterna variabile e temperatura interna impostata a 20°C) e i *Gradi Giorno effettivi*, ossia basati sulle temperature interne memorizzate dai data logger durante il periodo di prova: in questo modo è stato possibile effettuare un confronto tra il fabbisogno energetico normalizzato e quello reale espressi in kWh/m²anno – a loro volta raffrontabili con gli indicatori di EP_H riportati negli Attestati di Certificazione Energetica.

La lettura dei dati acquisiti ha permesso inoltre di effettuare interessanti valutazioni sull'interazione tra sistema edificio e impianto, quali, a titolo d'esempio, lo sfasamento termico e i tempi di "messa a regime degli impianti" in fase di accensione.

2.3. La campagna di monitoraggio estivo

Secondo analoghe modalità e usando la medesima strumentazione è stata pure condotta la campagna di monitoraggio estivo. Il periodo considerato per l'acquisizione dei parametri ambientali interni va dalla seconda metà di luglio 2011 alla prima metà di ottobre 2011. Unica sostanziale differenza rispetto a quanto descritto per il periodo invernale sta nella definizione del campione d'analisi: infatti questo non è più composto da 19 unità abitative come nel caso precedente, ma da 3. Pertanto, in ognuna di esse, sono stati posti mini data logger in numero variabile da 2 a 4 – uno per ogni ambiente riscaldato e considerato significativo in funzione dell'orientamento. Da notare, infine, è come l'inesistenza di Gradi Giorno estivi ufficialmente riconosciuti dalla normativa in essere, abbia di fatto reso necessario il calcolo degli stessi sulla base dei dati contenuti nell'Anno Tipo elaborato secondo il metodo CNR, così come desunto dalla norma UNI EN ISO 15927-4 (si veda il sottocapitolo 2.7. *Considerazioni sull'Anno Tipo*).

Questa sostanziale differenza quantitativa del campione d'analisi, nonché delle modalità di posizionamento della strumentazione finalizzata all'acquisizione dati, essenzialmente pone il suo fondamento in un triplice ordine di motivazioni. Il primo, di *carattere ambientale*, dipende direttamente dalla volontà di valutare l'influenza degli apporti solari all'interno di edifici ad alte prestazioni in funzione dell'orientamento considerato. Il secondo, di *carattere tecnico*, dipende dal fatto che l'edificio oggetto di studio ha già mostrato, in occasione di una prima campagna di monitoraggio per il periodo invernale (quella precedentemente descritta è di fatto la seconda) e condotta dal medesimo gruppo di ricerca, un effettivo allineamento tra quanto misurato e quanto dichiarato nell'Attestato di Certificazione Energetica. Il terzo, che potremmo definire di *carattere logistico*, è strettamente correlato alla disponibilità immediata degli strumenti di misura.

Ad ogni modo, si ritiene che il campione d'analisi così composto e del quale si presenteranno solo i risultati utili ai fini del presente lavoro, sia comunque valido per restituire un'immagine veritiera dell'edificio studiato – soprattutto se le conclusioni verranno incrociate con quanto emerso dalle altre campagne di monitoraggio condotte.

2.4. Definizione del campione d'analisi e simulazioni dinamiche

Per lo sviluppo del presente lavoro, si è reso necessario definire un campione d'analisi che fosse, per caratteristiche intrinseche, direttamente confrontabile nei risultati con quanto emerso al contempo dalle campagne di monitoraggio invernale ed estivo, e dalle prove empiriche condotte in sito (rilevazioni termoflussimetriche). Può sembrare esercizio superfluo, ma si ricorda che dati omogenei e coerenti analiticamente determinati possono essere raffrontati solo ed esclusivamente ad altri (altrettanto omogenei e coerenti) riferiti al medesimo sistema oggetto di studio.

Assunto a paradigma l'effettivo allineamento riscontrato per il campione di analisi tra quanto emerso dalle campagne di monitoraggio e quanto dichiarato nel relativo Attestato di Certificazione Energetica, si è dunque proceduto nell'identificazione, tra quelle indagate, di quattro unità abitative significative tanto per posizione che per stato occupazionale. Pertanto, con riferimento al Blocco 2 dell'intervento edilizio di via Pompeo Marchesi, sono stati selezionati gli appartamenti 5, 54, 77 e 95 (in Appendice è possibile prender visione delle piante relative in scala 1:100). È bene sottolineare sin da ora che, mentre per i primi tre (abitati) l'attività di controllo strumentale copre tanto il periodo invernale quanto quello estivo, per l'ultimo le condizioni di indagine sono leggermente diverse. Con maggior precisione, per l'unità 77, che a tutt'oggi risulta inabitata, la campagna di monitoraggio copre la sola stagione fredda. Pertanto, visto il suo stato occupazionale, è stato possibile mettere a regime l'impianto di riscaldamento solo per un lasso di tempo molto breve e comunque al fine di condurre le rilevazioni termoflussimetriche ivi effettuate nelle migliori condizioni ambientali interne richieste dalla prova (così come specificato dalla norma UNI 9869). Va da sé che in tale accezione viene meno la possibilità di effettuare tutta una serie di considerazioni sulle modalità di interazione tra utenza e sistema edificio, nonché di valutare la risposta simultanea degli impianti termici al generarsi dei carichi interni. Rimane tuttavia il grande interesse che in tale situazione riveste il comportamento dell'involucro edilizio nel mantenere costante o meno la temperatura ambiente e quindi, se pur indirettamente, il suo grado di coibentazione. La tabella di cui sotto mostra sinteticamente le peculiarità del campione d'analisi, così come composto ai fini delle simulazioni in regime dinamico.

Tab. 04 – Peculiarità del campione d'analisi

	<i>App. 5</i>	<i>App. 54</i>	<i>App. 77</i>	<i>App. 95</i>
<i>Stato occupazionale</i>	Abitato	Abitato	Inabitato	Abitato
<i>Monitoraggio Invernale</i>	Si	Si	Si	Si
<i>Monitoraggio Estivo</i>	Si	Si	No	Si
<i>Prove empiriche</i>	No	No	Si	No

Per valutare al meglio le potenzialità del motore di calcolo EnergyPlus e comunque per il conseguimento degli obiettivi del presente lavoro, sono stati dunque definiti, per ogni elemento appartenente al campione d'analisi precedentemente descritto, tre livelli progressivi di dettaglio geometrico. Obiettivo di questa scelta è stato quello di computare l'influenza delle masse interne sul bilancio termico complessivo degli spazi riscaldati e, per converso, capire fino a che punto possa valer la pena dettagliare il modello sotto un punto di vista strettamente distributivo. A tal proposito, i livelli definiti sono:

- *Low*. La zona termica è stata descritta senza delimitazione alcuna degli spazi, né sono state inserite voci atte a compensare l'effetto di massa termica derivante dalla presenza di partizionamenti interni.
- *Heating Mass*. Anche in questo caso la zona termica è stata descritta senza delimitazione alcuna degli spazi. Tuttavia è stato computato l'effetto di massa termica dei partizionamenti interni attraverso la voce *Internal Mass*. Essa simula l'influenza di detto effetto sul bilancio termico complessivo, disseminando concettualmente lo spazio di tanti cubetti a composizione omogenea.
- *Detailed*. Ogni locale che compone l'appartamento oggetto di studio è stato considerato quale zona termica e quindi descritto dettagliatamente tanto nelle quantità, quanto nelle qualità che lo definiscono.

Ogni modello, pertanto, è stato descritto attraverso la classica distinzione tra ambienti riscaldati e spazi comuni non riscaldati. Ad ogni modo, anche per i progressivi livelli di dettaglio geometrico, è possibile prendere visione, in Appendice, delle relative piante, così come implementate al software di simulazione.

Un momento estremamente importante per la descrizione del modello è stato quello legato alla definizione delle molteplici condizioni al contorno – di per sé fase necessaria a descrivere quali relazioni intercorressero tra l'appartamento studiato e la rimanente porzione di edificio non esplicitamente implementata nei dati di input. In sostanza, la domanda cui dare risposta è stata: cosa avviene all'interfaccia tra le zone descritte, riscaldate e non, e i rimanenti volumi chiusi ad essi confinanti?

Per quanto concerne pareti e orizzontamenti posti a delimitazione degli spazi descritti e che danno su altre unità abitative (le quali possono essere ragionevolmente immaginate come riscaldate), è stata dunque compilata la scheda *SurfaceProperty:OthersideSideCoefficients*. Attraverso di essa si sono potuti così definire tanto i limiti inferiore (invernale) e superiore (estivo) della temperatura attesa (ndr. 20°C | 27°C), quanto i coefficienti convettivi superficiali degli elementi di divisione. Per questi ultimi sono stati computati i valori previsti

dalla norma UNI EN ISO 6946 e quindi $7,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ per il flusso orizzontale, $10 \text{ W/m}^2\text{K}$ per il flusso ascendente e $5,9 \text{ W/m}^2\text{K}$ per il flusso discendente. Sono stati invece definiti adiabatici tutti gli orizzontamenti e le pareti di interfaccia tra ambienti non riscaldati.

A dire il vero, molte altre sono le impostazioni atte a descrivere le modalità di relazione del modello, nelle molteplici parti di cui esso si compone, tanto con l'ambiente esterno che con quello interno – rispetto cioè ai volumi d'aria che racchiude. Tra le principali possiamo annoverare:

- *SurfaceConvectionAlgorithm:Inside/Outside*. Sinteticamente, è l'algoritmo che descrive le modalità di trasferimento del calore per convezione delle superfici interne ed esterne. Il parametro selezionato per il campione di analisi è *Adaptive Convection Algorithm*, il quale prevede una scelta dinamica di uno tra i diversi modelli disponibili che descrivono il fenomeno, sulla base delle condizioni ambientali al contorno di volta in volta generatesi.
- *HeatBalanceAlgorithm*. Algoritmo che descrive secondo quali modalità avviene il trasferimento di calore attraverso le superfici. Il parametro in questo caso selezionato è *ConductionTransferFunction*, il quale prende in considerazione il solo calore sensibile e trascura l'accumulo o la diffusione di umidità attraverso gli elementi.
- *Building Solar Distribution*. Determina il modo in cui EnergyPlus considera la radiazione solare e le riflessioni superficiali esterne. Il parametro qui selezionato è *Full Interior And Exterior With Reflections*.

2.5. Semplificazioni impiantistiche adottate

Data la grandezza dell'intervento residenziale dal quale è stato estratto il campione d'analisi, e che conta, come si è già avuto modo di vedere, 196 appartamenti ripartiti in due blocchi tra loro speculari, sarebbe risultata operazione lunga ed onerosa calcolare il contributo millesimale degli impianti termici alla climatizzazione di ogni singola unità abitativa. Per minimizzare il dispendio di risorse (la definizione di un modello di simulazione in regime dinamico è già da canto suo processo lungo e complesso), ed, invero, per ridurre i possibili margini d'errore, si è ritenuto dunque opportuno adottare alcuni espedienti per la semplificazione concettuale dei sistemi di riscaldamento/condizionamento presenti – ferma restando la loro capacità di supplire ai carichi termici di volta in volta generatisi all'interno delle unità abitative. Ragionamento analogo, è stato effettuato anche per tutti gli altri sistemi

impiantistici logicamente individuabili all'interno dell'intervento oggetto di studio. A tal proposito, è bene ricordare che una qualsiasi simulazione in regime dinamico è sempre finalizzata, attraverso la relativa compilazione dei dati di input, all'ottenimento di risultati precisi e che devono essere primariamente ben definiti nelle intenzioni dell'operatore: in sostanza sono gli obiettivi a determinare il livello di dettaglio (o di riduzione concettuale) per ogni elemento costituente il modello da simulare, e non il contrario.

Come si è già avuto modo di mostrare in termini del tutto generali e comunque con riferimento agli appartamenti caratterizzanti il campione d'analisi (e relativi gradi di semplificazione "geometrica"), sono state individuate quattro macro-aree intorno alle quali focalizzare l'attenzione nella definizione dei sistemi impiantistici, ovvero:

- *riscaldamento/condizionamento;*
- *produzione centralizzata di ACS;*
- *sistemi fotovoltaici (per l'alimentazione dei soli generatori termici);*
- *ventilazione meccanica degli spazi interni.*

Si sottolinea sin da ora che, né la produzione di ACS, né i sistemi fotovoltaici, sono stati presi in considerazione (e quindi implementati) ai fini delle diverse simulazioni condotte. Tale scelta è da riferirsi alla mancanza di dati reali monitorati sul lungo periodo con i quali confrontare i risultati eventualmente ottenuti. Pertanto, tutte le possibili considerazioni che si sarebbero potute effettuare in merito non avrebbero avuto alcun senso, se valutate in funzione degli obiettivi esplicitati per il presente lavoro.

Per quanto concerne, invece, la ventilazione meccanica degli spazi interni, si è fatto riferimento a un sistema di estrazione semplice. La voce in questo caso compilata è *ZoneVentilation:DesignFlowRate*, e prende in considerazione, come unico parametro per la computazione dell'estrazione d'aria, la portata degli apparecchi installati, espressa in m³/s. Pertanto, essendo a conoscenza della sola capacità totale degli estrattori variamente dislocati nei diversi appartamenti, si è resa necessaria, per i modelli di simulazione con livello di semplificazione geometrica "*detailed*", un'operazione di ripartizione dei volumi d'aria complessivamente estratti in funzione della superficie degli ambienti serviti. La tabella che segue mostra, dunque, per le tre unità abitative studiate, i volumi d'estrazione impostati per le zone termiche di cui si compongono.

Tab. 05 – Volumi d'estrazione ponderati sulla s.l.p. delle zone termiche costituenti gli appartamenti Detailed abitati

<i>Zona Termica</i>	<i>App. 5</i>		<i>App. 54</i>		<i>App. 95</i>	
	<i>s.l.p. [m²]</i>	<i>m³/s</i>	<i>s.l.p. [m²]</i>	<i>m³/s</i>	<i>s.l.p. [m²]</i>	<i>m³/s</i>
Soggiorno	36,49	0,0058	34	0,0048	28,60	0,0063
Cucina	11,86	0,0019	11,73	0,0016	10,57	0,0023
Disimpegno	4,87	0,00078	6,91	0,00096	5,10	0,0011
Bagno 01	6,24	0,00095	6,41	0,00089	5,39	0,0012
Bagno 02	5,92	0,001	6,07	0,00084	4,95	0,0011
Bagno 03	---	---	---	---	5,52	0,0012
Camera matrimoniale	18,28	0,0029	18,05	0,00256	17,72	0,0039
Cameretta 01	15,53	0,0025	14,76	0,002	13,85	0,003
Cameretta 02	---	---	15,43	0,002	---	---
Sottotetto	---	---	---	---	48,24	0,0106
TOT.	99,19	0,01583	113,36	0,01565	139,94	0,0305

Questo espediente di riduzione del sistema meccanico di ventilazione a semplice volume d'estrazione è stata resa possibile dall'assenza, in ciascun elemento del campione d'analisi, del recuperatore di calore agente sull'aria in uscita. Pertanto la ripartizione dei vol./secondo in funzione della s.l.p. ha come unica conseguenza un'equa influenza della ventilazione sui carichi termici presenti nelle diverse zone termiche, a prescindere dalla posizione relativa o dalla destinazione funzionale.

Per quanto concerne, invece, il sistema di riscaldamento/condizionamento, si è pensato di declinare l'impianto servente da centralizzato ad autonomo, in modo tale da non rendere necessario il calcolo dell'apporto millesimale alla singola unità abitativa. In qualità di generatore, è stato pertanto computato, anziché una pompa di calore a ciclo reversibile con scambiatore a sonde geotermiche, un ben più comune sistema composto di caldaia (per il riscaldamento invernale), chiller (per il condizionamento estivo) e condensatore (per la sottrazione di calore al fluido termo-vettore uscente dal ciclo di condizionamento). Ancora una volta l'interesse primario è quello di semplificare il modello. Infatti, alla luce degli obiettivi che guidano il presente lavoro, non è risultato necessario ottenere informazioni dettagliate in merito alle peculiarità di funzionamento dei generatori nel tempo, quanto piuttosto è stata mia personale intenzione garantire che questi riuscissero a supplire, istante per istante, ai carichi termici presenti all'interno delle diverse zone termiche. Unica accortezza è stata piuttosto quella di dover riallineare i consumi in output ai COP caratterizzanti gli impianti reali. Nessuna semplificazione è stata invece adottata lato terminali, dove sono stati regolarmente descritti, per tutti gli elementi costituenti il campione d'analisi, i relativi sistemi radianti a pavimento attraverso. A tal fine, la scheda compilata è stata *ZoneHVAC:LowTemperatureRadiant:ConstantFlow*.

2.6. La definizione dei profili d'utenza

Per simulare correttamente gli appartamenti 5, 54 e 95 del campione d'analisi (n. 77 risulta tutt'oggi inabitato), è stato necessario interpretare e quindi definire le modalità di interazione tra utenza e sistema edificio. Da queste dipendono direttamente i guadagni interni, ovvero gli apporti di calore entro gli spazi abitati e legati all'illuminazione artificiale, all'uso di apparecchiature elettriche o a gas, alle attività svolte dagli occupanti. Dalle modalità di interazione utenza/edificio possono dipendere inoltre i guadagni solari o, invero, il controllo delle dispersioni notturne (si pensi, ad esempio, alla gestione giornaliera delle persiane).

Nell'impossibilità di definire per ogni giorno dell'anno le abitudini degli occupanti, sono state dunque elaborate schematizzazioni che, a fronte di un margine ragionevole di incertezza, fossero in grado di restituire un'immagine accettabile delle dipendenze quantitative e qualitative legate alla fruizione degli spazi nel tempo. Può sembrare scontato, ma i modi d'uso e, per converso, i carichi generati, hanno una forte connotazione temporale, essendo quasi nulli durante il giorno, quando, mediamente, le abitazioni rimangono vuote, e aumentando esponenzialmente durante le ore serali. Secondo lo stesso andamento, può pure essere immaginata la risposta degli impianti nel far fronte ai carichi presenti nelle zone termiche.

Il primo passo che si è reso necessario per la definizione dei profili d'utenza per gli appartamenti 5, 54 e 95 è stato dunque quello di ottenere, a mezzo di breve questionario, informazioni sintetiche in merito alla grandezza del nucleo familiare, al quantitativo di tempo, espresso in ore, mediamente passato in casa durante una giornata ordinaria, nonché alle modalità di gestione di tapparelle e termostato. Le interviste effettuate hanno restituito un'immagine comune tanto della composizione dei due nuclei, quanto delle relative modalità di fruizione. Con maggior dettaglio, entrambi i profili d'utenza sono stati così definiti:

- *composizione*: 3 persone;
- *tempo passato mediamente in casa*: 14 ore/giorno;
- *gestione termostato*: setpoints (20-23 °C in inverno – 24-26 °C in estate);
- *gestione tapparelle*: aperte di giorno, chiuse di notte.

Queste informazioni sono state dunque tradotte in *Schedules*, ovvero in piani di gestione temporale dei parametri ad esse direttamente ricollegabili.

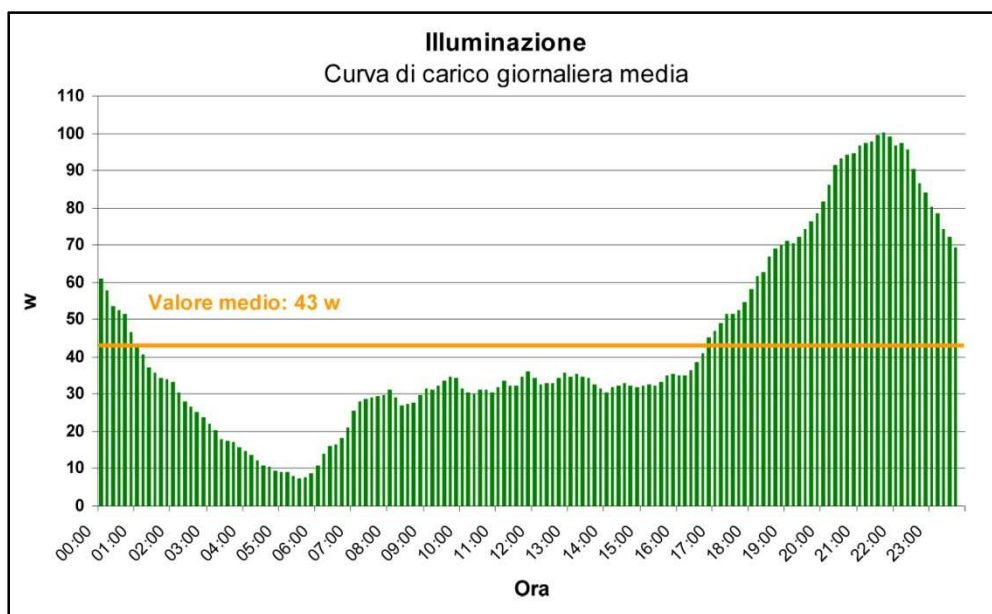
Ben più complessa è stata la definizione degli *Internal Gains* direttamente dipendenti dall'uso di apparecchiature elettriche e dall'illuminazione artificiale degli spazi interni. Non potendo risalire con precisione, né al parco elettrodomestici, né, tantomeno, agli apparecchi di illuminazione (con relative potenze elettriche e tempi di funzionamento giornalieri), si è ritenuto opportuno utilizzare, per voci omogenee, valori statistici mediamente rilevati in Italia

nel settore residenziale. A tal proposito, dopo aver appurato che tanto i nuclei familiari, quanto gli s.l.p. degli appartamenti oggetto di studio sono assolutamente in linea con la media nazionale (rispettivamente pari a 2,54 persone/famiglia e 106 m²/appartamento), sono state assunte, a sistema di riferimento, le conclusioni alle quali è pervenuto il progetto MICENE (Misure dei Consumi di ENergia Elettrica in 110 abitazioni italiane)¹⁶ all'interno del più ampio progetto EURECO (end-use metering campaign in 400 households of the European Community). Attraverso lo studio appena citato è stato infatti possibile risalire ai consumi elettrici mediamente registrati per i principali elettrodomestici e per i sistemi di illuminazione, e determinare così, per processo inverso, la potenza media degli stessi, sulla base dei tempi di funzionamento logicamente ipotizzabili per i profili d'utenza precedentemente costruiti. Va da sé che quella appena ipotizzata è di fatto un'approssimazione, che vede tuttavia nella ricerca statistica che l'ha generata la sua ragionevole validazione.

Con riferimento agli apparecchi di illuminazione, ad esempio, il progetto MICENE ha monitorato un consumo medio di 375 kWh/anno. Da qui, ipotizzando per i nostri profili d'utenza, un tempo medio di utilizzo giornaliero pari a 8 ore (06:00-08:00 | 18:00-24:00), si è potuti risalire alla potenza verosimilmente installata, secondo la semplice equazione:

$$P_{illuminazione} = \frac{W}{t} = \left[\frac{375}{(365 \times 8)} \right] \times 1000 = 128 \text{ W}$$

Fig. 04 – Curva di carico giornaliera per i sistemi di illuminazione (fonte: Progetto MICENE, 2003)



¹⁶ Condotta da eERG (end-use Efficiency Research Group) del Dipartimento di Energetica del Politecnico di Milano, lo studio in oggetto si è occupato di monitorare, da giugno 2002 a marzo 2003, 110 appartamenti variamente ubicati sul suolo nazionale, al fine di determinare, statisticamente, le curve di carico dei principali elettrodomestici e degli apparecchi di illuminazione.

Ragionamento analogo è stato condotto per tutte le altre apparecchiature elettriche ipotizzabili all'interno del campione d'analisi. In questo caso, sono stati definiti tre profili temporali giornalieri, grosso modo corrispondenti ai macro periodi di fruizione di una giornata tipo (00:00-06:00 | 06:00-18:00 | 18:00-24:00), entro i quali inserire le potenze elettriche calcolate per i diversi elettrodomestici.

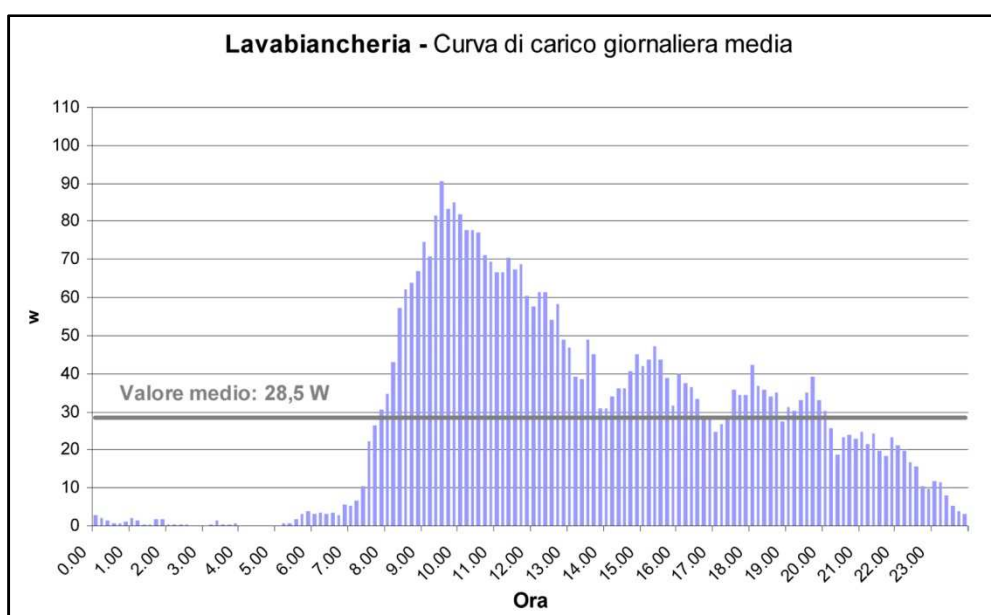
Tab. 06 – Ripartizione giornaliera delle potenze elettriche previste per i profili d'utenza

<i>Elettrodomestici</i>	<i>00:00 – 06:00</i>	<i>06:00 – 18:00</i>	<i>18:00 – 24:00</i>
Frigorifero	65 W	65 W	65 W
Stand-by	8 W	8 W	8 W
Lavatrice	---	48 W	---
Lavastoviglie	---	---	56 W
PC	---	---	62 W
Audiovisivi	---	---	160 W
Vari	---	---	100 W
TOT.	73 W	121 W	451 W

Questa divisione netta della giornata, ha come conseguenza il fatto che la potenza calcolata per ogni singolo apparecchio non sia quella effettiva, quanto piuttosto quella ponderata sul tempo di effettivo utilizzo. Ad esempio, la lavatrice non farà, nella realtà dei fatti, cicli di lavaggio da 6 ore, quanto piuttosto un ciclo da 1 ora ogni 2 giorni. Quindi, rielaborando la formula di cui sopra sulla base di un consumo medio statistico di 211 kWh/anno, si ottiene:

$$P_{lavatrice} = \frac{W}{t} = \left[\frac{211}{(365 \times 1 \times 2 \times 6)} \right] \times 1000 \approx 48 W$$

Fig. 05 – Curva di carico giornaliera per la lavabiancheria (fonte: Progetto MICENE, 2003)



Ad ogni modo, siffatte operazioni, seppur frutto di un'approssimazione su base statistica, sono assolutamente fondamentali per ottenere dati coerenti dalla simulazione in regime dinamico: esse infatti, oltre a definire le modalità di interazione tra fruitore e ambiente interno, forniscono al software di calcolo maggiori e più puntuali informazioni per gestire gli impianti termici in risposta simultanea ai molteplici carichi presenti nei diversi time steps.

2.7. Considerazioni sull'Anno Tipo: la necessità della normalizzazione

Per poter effettuare una simulazione in regime dinamico, a prescindere dalle finalità che si intende perseguire, è necessario fornire al motore di calcolo tutte le indicazioni atte ad esemplificare, istante per istante, l'andamento temporale dei principali parametri che definiscono le condizioni ambientali della località di progetto (temperatura a bulbo secco/umido, radiazione solare diretta e diffusa, umidità relativa ecc.). Generalmente, salvo specifici interessi da parte dell'operatore, si ricorre ad elaborazioni statistiche denominate *Anno Tipo* o *TRY* (ndr. Test Reference Year). Con tale definizione, si individua l'insieme dei valori orari, per la durata di un anno, dei parametri ambientali statisticamente più frequenti (o quanto meno più prossimi al valore medio) che interessano una data località durante un arco temporale di 20 anni.

L'aleatorietà della definizione appena riportata dipende essenzialmente dal metodo utilizzato, tra i molteplici esistenti, per la costruzione del TRY. In Italia, ad esempio, viene adottata la procedura elaborata dal CNR¹⁷, nell'ambito del PFE_01 (Progetto Finalizzato Energetica), che vede come criterio d'estrazione quello di scegliere il mese dell'anno con la temperatura media più vicina alla media della temperatura degli N mesi del set di dati disponibile. Tale criterio viene usato per tutti i parametri meteorologici misurati durante gli anni considerati.

Occorre precisare che il criterio di estrazione adottato per la costruzione dell'Anno Tipo deve garantire, all'interno della finestra temporale considerata:

- le *giuste frequenze*: il valore medio del campione estratto deve essere quanto più possibile vicino al valore medio del campione rappresentato;
- le *giuste sequenze*: l'ampiezza della finestra temporale deve essere tale da consentire al campione estratto di poter riprodurre la stessa distribuzione tipologica di giorni presenti all'interno del campione rappresentato;

¹⁷ Procedura di calcolo dell'Anno Tipo caratteristico secondo la Norma UNI EN ISO 15927-4.

- le *giuste correlazioni*: la sequenza estratta deve riprodurre le correlazioni esistenti tra le grandezze climatiche del campione rappresentato.

Senza voler entrare ulteriormente nel dettaglio delle molteplici questioni che fanno capo alla costruzione del TRY, si ritiene comunque opportuno sottolineare come l'adozione di un particolare criterio di estrazione possa restituire valori medi per i parametri ambientali presi in considerazione anche molto diversi da quelli ottenibili, per la medesima finestra temporale, con un'altra procedura di calcolo. Pertanto il fatto che non esista, allo stato attuale, una metodologia univoca ed universalmente riconosciuta per siffatta elaborazione, costituisce senza alcuna ombra di dubbio, una grande limitazione per l'utilizzo "a cuor leggero" di un qualsiasi Anno Tipo. Il rischio che qui si corre è evidentemente quello di sottostimare o, al contrario, di sovrastimare i carichi termici di un edificio – con tutto ciò che ne consegue in funzione delle finalità che si propone la data simulazione in regime dinamico.

Da canto suo, EnergyPlus usa TRY elaborati con "metodo Canadese" e descritti in files con estensione .epw (ndr. EnergyPlus Weather). Il criterio d'estrazione adoperato per la loro compilazione prevede l'eliminazione degli anni contenenti mesi con valori medi di temperatura molto bassi o molto alti rispetto alle temperature medie dei vari mesi sul lungo periodo. Tale procedura conduce, per eliminazione, alla costruzione di un anno ipotetico contenente dati reali di mesi reali, estratti da anni diversi. La tabella di cui sotto mette a confronto le temperature medie mensili, per la città di Milano, estratte da Anni Tipo elaborati rispettivamente con "metodo CNR" (fonte ENEA, Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile) e "metodo Canadese".

Tab. 07 – Confronto tra le temperature medie mensili di due diversi Anni Tipo per la città di Milano

	<i>01</i>	<i>02</i>	<i>03</i>	<i>04</i>	<i>05</i>	<i>06</i>	<i>07</i>	<i>08</i>	<i>09</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	<i>12</i>
CNR	3,2	7,3	10,5	13,6	17,6	23,9	23,6	23,4	20,6	14,6	7,5	2,9
Canadese	0,3	2,2	7,5	11,0	16,3	19,7	23,1	22,2	17,6	12,5	6,5	2,2
Diff. %	966,6	231,8	40	23,6	7,97	21,3	2,16	5,4	17	16,8	15,4	31,8

Come si può notare, esistono differenze sicuramente non trascurabili tra i due Anni Tipo presi in considerazione e comunque tali da generare risultati anche enormemente diversi tra loro in fase di simulazione. In linea del tutto generale, il file .epw adoperato da EnergyPlus usa temperature mediamente più basse rispetto a quanto estratto col criterio CNR – con picchi differenziali che raggiungono rispettivamente il 231,8% e il 966,6% per i mesi di Gennaio e Febbraio.

Non essendo in possesso di informazioni sufficienti per stabilire con esattezza quale sia l'Anno Tipo più affidabile tra le molteplici elaborazioni possibili, si è dunque ritenuto

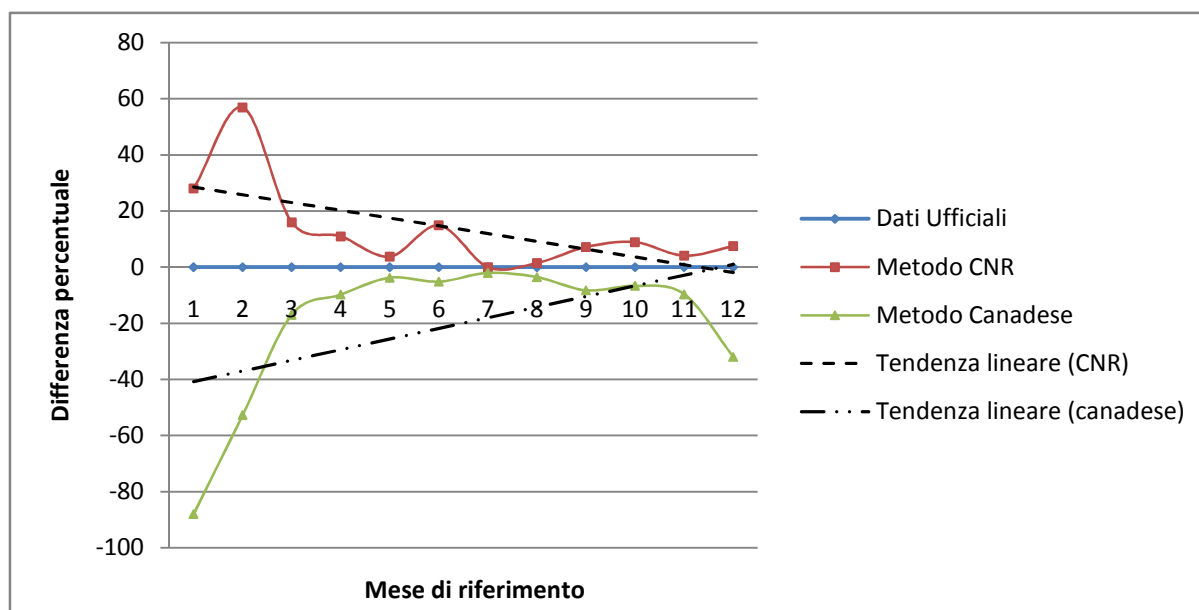
opportuno riallineare (a mezzo di normalizzazione) i risultati ottenuti dalle simulazioni per il campione d'analisi considerato al TRY costruito col metodo CNR. Tale decisione è da attribuirsi alla maggior aderenza del modello in questione con i valori medi ufficialmente riconosciuti dalla Normativa in essere per la città di Milano. La tabella di cui sotto mette in relazione le temperature medie mensili estratte dagli Anni Tipo precedentemente discussi per il capoluogo lombardo, con i valori medi ufficialmente riconosciuti.

Tab. 08 – Valutazione delle temperature medie mensili dei TRY di Milano rispetto alle medie ufficialmente riconosciute

	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
Diff. %	28	56,9	16	11	3,8	14,9	0	1,5	7,2	8,9	4,1	-10
CNR	3,2	7,3	10,5	13,6	17,6	23,9	23,6	23,4	20,6	14,6	7,5	2,9
Ufficiali	2,5	4,65	9,05	12,2	16,95	20,8	23,6	23,05	19,2	13,4	7,2	3,25
Canadese	0,3	2,2	7,5	11,0	16,3	19,7	23,1	22,2	17,6	12,5	6,5	2,2
Diff. %	-88	-52,7	-17	-9,8	-3,8	-5,2	-2,1	-3,6	-8,3	-6,7	-9,7	-32

Con una differenza percentuale media del 13,52%, contro il 19,9% mostrata dall'estrazione con “metodo canadese” – e come del resto mostrato graficamente dalle rette di tendenza lineare riportate nel grafico 01 – l'Anno Tipo realizzato secondo il metodo CNR risulta senz'altro più idoneo a simulare dinamicamente il campione d'analisi preso in considerazione, in funzione degli obiettivi ufficialmente preposti.

Grafico 01 – Valutazione delle differenze percentuali dei TRY per Milano rispetto alle temperature medie mensili ufficiali



Tuttavia sorge spontanea una domanda: perché ai fini del presente lavoro, e più in generale di una simulazione in regime dinamico, è necessario far riferimento a un Anno Tipo? O

meglio, perché non è possibile usare direttamente i valori medi, per i parametri ambientali di interesse, ufficialmente riconosciuti?

La risposta risiede essenzialmente nel fatto che i TRY riportano, per tutti i parametri ambientali considerati, non già le medie mensili, quanto piuttosto i relativi valori orari per un totale/anno di 8760. Pertanto è proprio questa differenza sostanziale a rendere possibile la simulazione in regime dinamico, permettendo così al software di interpolare, istante per istante, le condizioni ambientali al contorno con quelle interne generatesi, e, per converso, gestire la risposta simultanea degli impianti, al fine di garantire ben precise condizioni di temperatura interne (setpoints).

Ad ogni modo, nel sottocapitolo *Risultati delle simulazioni con Anno Tipo normalizzato*, verrà valutata, per il campione d'analisi considerato, la variazione differenziale degli output in funzione del TRY adottato.

2.8. La costruzione dell'Anno Meteorologico Reale

Come si è avuto modo di descrivere nel precedente sottocapitolo, l'Anno Tipo è una rappresentazione statistica che, a prescindere da quale sia il criterio di estrazione adoperato per la sua costruzione, mira a descrivere l'andamento orario medio dei molteplici parametri che caratterizzano il clima di una ben definita area geografica (temperatura, umidità relativa, direzione e velocità del vento ecc.) a partire da un corpo rilevazioni di almeno 20 anni. Va da sé che siffatta elaborazione non può che restituire un Comportamento Tipo dell'edificio oggetto di studio, alla stregua di quanto avviene, seppur con presupposti radicalmente diversi, con le simulazioni in regime stazionario. Sulla base di quanto appena detto, è possibile intuire come, al fine di ottenere maggiori e più puntuali informazioni riguardo al comportamento del sistema studiato in un ben preciso arco temporale, risulti di fatto necessaria la costruzione di un database processabile e contenente la definizione oraria dei diversi parametri di interesse, così come mostratisi nel periodo desiderato.

Ai fini del presente lavoro, si è dunque proceduti alla realizzazione di un Anno Reale (dal 1 gennaio 2011 al 31 dicembre 2011), tale da coprire il periodo occupato dalle due campagne di monitoraggio invernale ed estivo. I parametri ambientali necessari a tal scopo e definiti con cadenza oraria sono stati richiesti all'ARPA Lombardia (Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente) per la stazione meteorologica di Piazza Zavattari, in quanto la più vicina al luogo di progetto (ndr. Via Pompeo Marchesi), e successivamente rielaborati. Laddove, per qualsiasi motivo (guasto tecnico, mancata registrazione ecc.), i dati forniti son risultati

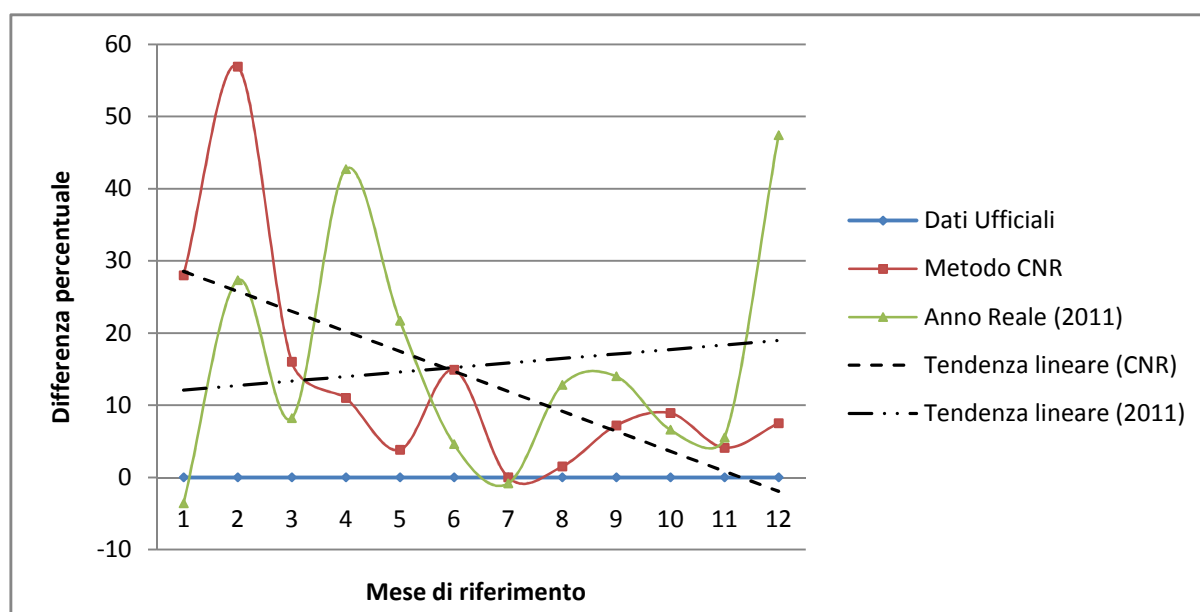
mancanti in alcune rilevazioni, si è proceduto alla loro reintegrazione sulla base del *Principio di Contiguità Territoriale*, utilizzando cioè valori provenienti da stazioni meteorologiche progressivamente più lontane rispetto al luogo di interesse (si citano, ad esempio, quelle di Lambrate, di Viale Marche e di Via Juvara a Milano) per lo stesso istante temporale. La tabella che segue mostra, con riferimento alla temperatura, le differenze percentuali che intercorrono tra l'Anno Reale (2011) così elaborato e i valori medi mensili da dati ufficiali e da Anno Tipo con estrazione CNR.

Tab. 09 – Valutazione dell'Anno Reale e dell'Anno Tipo (CNR) rispetto alle temperature medie mensili ufficiali

	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
Diff. %	-3,6	27,3	8,2	42,7	21,7	4,6	-0,84	12,8	14	6,6	5,5	47,4
2011	2,41	5,92	9,8	17,41	20,64	21,77	23,4	26	21,9	14,29	7,6	4,79
Ufficiali	2,5	4,65	9,05	12,2	16,95	20,8	23,6	23,05	19,2	13,4	7,2	3,25
CNR	3,2	7,3	10,5	13,6	17,6	23,9	23,6	23,4	20,6	14,6	7,5	2,9
Diff. %	28	56,9	16	11	3,8	14,9	0	1,5	7,2	8,9	4,1	-10

Come è possibile notare, seppur le differenze percentuali medie di Anno Reale e Anno Tipo rispetto ai valori di temperatura medi ufficiali siano a tutti gli effetti tra loro assimilabili (rispettivamente 16,7% e 13,52%), tuttavia è l'andamento mensile di dette differenze a non esser confrontabile. Ciò rende a tutti gli effetti giustificata la costruzione dell'Anno Reale per poter confrontare il comportamento simulato del campione d'analisi rispetto a quanto emerso dalle campagne di monitoraggio Invernale ed Estiva.

Grafico 02 – Valutazione delle differenze percentuali dell'Anno Reale e dell'Anno Tipo CNR rispetto alle medie ufficiali



2.9. Prove empiriche per la verifica delle prestazioni dell'involucro

Un momento fondamentale per la validazione delle simulazioni in regime dinamico è stato quello di verificare empiricamente le prestazioni energetiche dell'involucro. A tal fine è stata condotta, tra il 25 gennaio 2012 alle ore 14:55 e il 2 febbraio 2012 alle ore 15:05, una prova termoflussimetrica con strumento "a tre temperature" del tipo Testo 435-2¹⁸ (la posa in opera della strumentazione, come fase determinante per ottenere risultati attendibili, è stata eseguita sulla base delle indicazioni contenute nella norma UNI 9869). Con una frequenza di campionamento di 15 minuti, è stato così possibile effettuare 1154 rilevazioni su cui sviluppare le successive elaborazioni per la determinazione di conduttanza e flusso di calore medi attraverso la parete Sud-Ovest dell'appartamento n°77.

Fig. 06 – Posizionamento delle sonde termoflussimetriche interne ed esterne



In tabella, si riporta la stratigrafia dell'elemento oggetto di analisi, così come dichiarata a pag. 22 della *Relazione Tecnica per il contenimento del consumo energetico degli edifici* e redatta in accordo a quanto previsto dal DGR 31 ottobre 2007, n. 8/5773 – Allegato B.

¹⁸ Come si può vedere nella porzione di sinistra dell'immagine, oltre alla sonda a "tre temperature", ne è stata predisposta anche una a piastra. Tuttavia i risultati da questa restituiti si sono dimostrati ben poco affidabili e quindi scartati. La motivazione più probabile di quanto riscontrato può risiedere nel basso numero di termocoppie presenti all'interno dello strumento di rilevazione in oggetto.

Tab. 10 – Stratigrafia della parete esterna di tamponamento, Appartamento 77

<i>N</i>	<i>DESCRIZIONE STRATO</i> (dall'interno verso l'esterno)	<i>s</i> [mm]	<i>λ</i> [W/mK]	<i>C</i> [W/m ² K]	<i>ρ</i> [kg/m ³]	<i>R</i> [m ² K/W]
1	Intonaco di calce e gesso	15	0,700	46,667	1.400	0,021
2	Mattone forato	80	0,400	5,000	1.800	0,200
3	Camera d'aria non ventilata	25	0,139	5,556	0	0,180
4	Barriera al vapore carta Kraft	0,33	0,230	697	1.000	0,001
5	Pan. lana di vetro con carta bituminosa	80	0,042	0,525	20	1,905
6	Pannello lana di vetro	40	0,042	1,050	20	0,952
7	Malta di cemento	10	1,400	140	2.000	0,007
8	Mattone semipieno	120	0,500	4,167	1.800	0,240
9	Malta di calce e cemento	20	0,900	45,000	1.800	0,022
						3,528

Con una resistenza termica totale R di 3,528 m²K/W, la parete esterna di tamponamento mostra una conduttanza teorica di 0,283 W/m²K. Il dato viene riconfermato senza differenza alcuna dal motore di calcolo EnergyPlus. Tuttavia questo confronto non ha alcun valore ai fini della validazione delle simulazioni in regime dinamico, in quanto vengono messi in relazione parametri teorici omogenei aventi i medesimi dati di input.

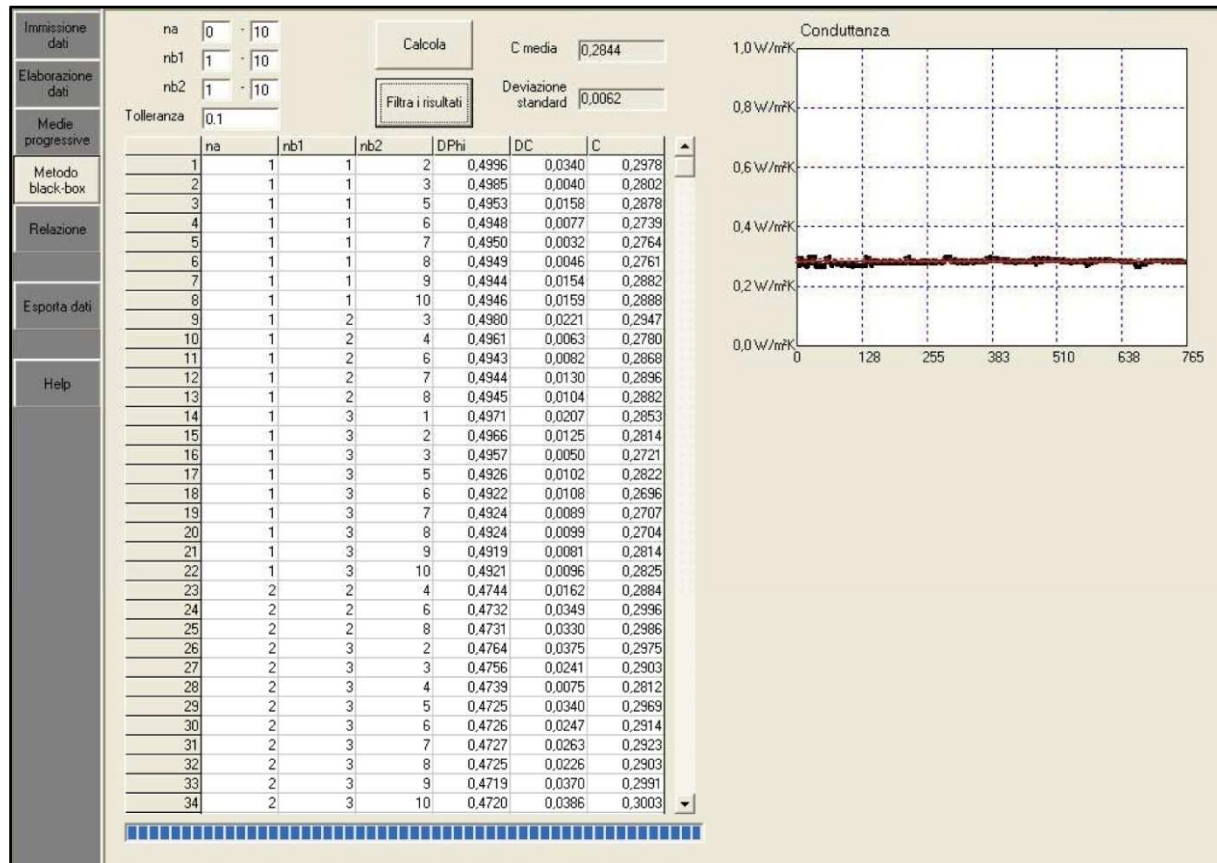
La prova termoflussimetrica condotta ha cercato dunque di verificare in maniera non invasiva le reali caratteristiche costruttive e quindi prestazionali dell'elemento considerato, in modo tale che fosse poi eventualmente possibile "forzare" i valori di conduttanza immessi nel motore di simulazione e riallineare così le peculiarità del modello con quelle effettivamente rilevate. Questa operazione cerca di ovviare alla logica del software esemplificata dall'assunto "garbage in, garbage out", secondo il quale non possono essere ottenuti risultati coerenti e attendibili, se a non essere coerenti e attendibili sono primariamente i dati di input processati.

L'elaborazione del campione d'analisi, così come registrato dal termoflussimetro nel corso della prova, è stata effettuata con l'ausilio del software SUBB, sulla base delle metodologie sviluppate da ANIT (Associazione Nazionale per l'Isolamento Termico e acustico), in collaborazione con il Politecnico di Torino, rispettivamente de:

- le *Medie Progressive*: per ogni campionamento, la conduttanza viene determinata utilizzando i valori medi di flusso e temperatura calcolati su tutti gli istanti ad esso precedenti;
- l'*Identificazione "black-box"*: metodo statistico così chiamato in quanto non presuppone la conoscenza del sistema fisico in esame (ndr. La parete), ma solo delle serie temporali dei dati in ingresso (le temperature interna ed esterna) e di quelli in uscita (il flusso).

I valori di conduttanza così ottenuti sono rispettivamente di $0,261 \text{ W/m}^2\text{K}$ per il metodo delle Medie Progressive, e di $0,284 \text{ W/m}^2\text{K}$ per l'Identificazione "Black-box".

Fig. 07 – Identificazione Black-box attuata mediante software STUBB, sviluppato da ANIT

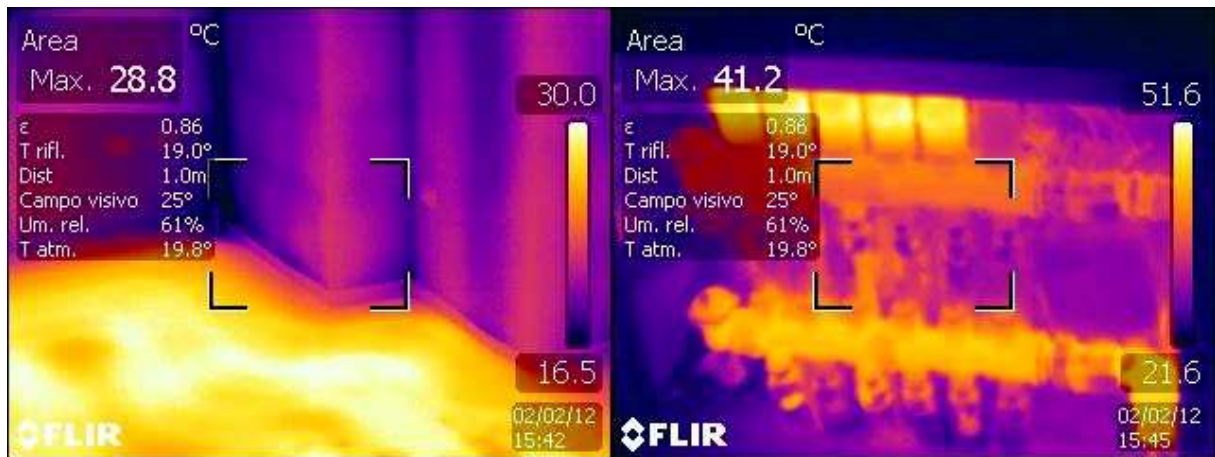


La differenza tra i due risultati è da imputare alle condizioni d'insieme entro la quale è stata condotta la prova. A tal proposito, si fa presente che l'attendibilità del primo modello presentato risente direttamente sia delle caratteristiche costruttive dell'elemento considerato, sia della variazione temporale della temperatura esterna. Con maggior precisione, tanto più una parete risulta coibentata e le condizioni ambientali al contorno dinamiche, tanto maggiore e difficilmente prevedibile deve essere il numero di rilevazioni effettuate. In ragione di ciò, si farà dunque affidamento al valore di conduttanza individuato con l'Identificazione "Black-box". Come si può notare, questo è pressoché identico a quello teorico, con una differenza tra i due di soli $0,001 \text{ W/m}^2\text{K}$. La sostanziale congruenza tra quanto riportato nella relazione tecnica e quanto effettivamente riscontrato, non rende di fatto necessaria alcuna forzatura dei dati di input processati da EnergyPlus per le simulazioni dinamiche condotte per il campione d'analisi studiato.

Sempre all'interno dell'appartamento n. 77, sono state inoltre condotte delle rilevazioni termografiche a mezzo di macchina "Flir B360_Western", con lo scopo, più qualitativo che

quantitativo, di: verificare l'omogeneità costruttiva della parete sulla quale applicare il termoflussimetro "a tre temperature"; controllare la presenza e, se del caso, l'entità di eventuali ponti termici; appurare l'effettiva distribuzione del sistema di riscaldamento a pannelli radianti. Soprattutto con riferimento a quest'ultimo punto, la termografia si è dimostrata uno strumento prezioso al fine di compilare dati di input per le simulazioni in regime dinamico il più possibile aderenti alla realtà dei fatti.

Fig. 08 – Termografie del sistema radiante a pavimento e dei relativi collettori dell'Appartamento 77



CAPITOLO 3

VERIFICA DELLE PRESTAZIONI ENERGETICHE COMPLESSIVE

3.1. Risultati del monitoraggio invernale

Come anticipato in sintesi nel corso del capitolo 2.2, i valori di temperatura e umidità relativa registrati dai mini data logger sono stati trasferiti, attraverso software proprietario, ad un PC e ivi elaborati. Le grandezze acquisite, dunque, sono state allineate con quelle fornite dall'ARPA per il medesimo periodo interessato dalla campagna di monitoraggio, al fine di effettuare una lettura parallela che permettesse di stabilire, timestep dopo timestep, la differenza di temperatura tra interno ed esterno. Per tutto il periodo del monitoraggio si è poi proceduto a calcolare i Gradi Giorno normalizzati, ovvero determinati considerando la temperatura esterna variabile e quella interna fissa a 20 °C, e quelli effettivi, ossia basati sui valori delle temperature interne reali, così come rilevati dagli strumenti di campionamento. In questo modo è stato possibile effettuare un confronto tra il fabbisogno energetico normalizzato e quello reale. Rapportando i valori del fabbisogno energetico con la superficie netta degli appartamenti, e tenendo conto dei rendimenti normalizzati degli impianti, si sono poi ricavati gli indicatori di fabbisogno di energia espressi in kWh/m² anno, di fatto confrontabili con l'indice di prestazione energetica riportato nell'ACE. La tabella che segue riporta i dati di sintesi, sia delle caratteristiche costruttive e impiantistiche del sistema edilizio studiato, sia delle principali grandezze campionate durante la campagna di monitoraggio.

Tab. 11 – Tabella di sintesi delle caratteristiche costruttive e impiantistiche, nonché delle principali grandezze campionate

Ubicazione edificio	Milano
Gradi Giorno località	2404
Sottosistema di erogazione	Pannelli radianti a pavimento
Sottosistema di regolazione	cronotermostato di zona + termostato ambiente
Sottosistema di generazione	Pompa di calore ad acqua di falda
Classe energetica	A [<29 kWh/m ² anno]
Fabbisogno EP_H da ACE (kWh/m² a)	27,1
Periodo monitoraggio	Dal 21/1/2011 al 7/4/2011
Gradi giorno normalizzati	892
Gradi giorno effettivi	1139
Calore fornito all'edificio (kWh/m² a)	32,2
Fabbisogno di energia primaria stimato (kWh/m² a)	20,9
Temperatura media interna (valore medio) (°C)	23

La normalizzazione dei consumi rilevati in funzione della temperatura interna immaginata costante nel tempo a 20°C è stata un'operazione necessaria per poter effettuare un confronto oggettivo tra i dati dei consumi reali e il valore di fabbisogno di energia primaria EP_H determinato con la procedura CENED. Infatti, come si può osservare dalla tabella di cui sopra, i valori di temperatura interna mediamente rilevati sono ben al di sopra di quelli prescritti dalla normativa attualmente in essere (23°C), comportando così un maggior consumo (rilevato e successivamente parametrizzato sulla base dei Gradi Giorno effettivi) rispetto a quanto preventivato del 30% e pari a (32,2 kWh/m²anno). La tabella che segue riporta, per ogni unità abitativa, gli indicatori di consumo di energia primaria per il periodo interessato dalla campagna di monitoraggio invernale.

Tab. 12 – Indicatori di consumo di energia primaria per il periodo 21/01/2011 - 07/04/2011 (kWh/m²anno)

	FACADE A		FACADE B						FACADE C						FACADE D			
F8	ATTIC	ATTIC	ATTIC	ATTIC	ATTIC	ATTIC	ATTIC	ATTIC	ATTIC	ATTIC	ATTIC	ATTIC	ATTIC	ATTIC	ATTIC	ATTIC	ATTIC	ATTIC
F7	F7-01	F7-02	F7-02	F7-03	F7-04	F7-05	F7-06	F7-07	F7-07	F7-08	F7-09	F7-10						
	23,72	0,00	0,00	38,10	56,94	32,92	42,39	41,72	41,72	0,00	52,68	47,50	ATTIC	ATTIC				
F6	F6-01	F6-02	F6-02	F6-03	F6-04	F6-05	F6-06	F6-07	F6-07	F6-08	F6-09	F6-10	F6-11	F6-12				
	59,26	49,97	49,97	32,49	36,17	21,73	27,02	0,00	0,00	34,71	0,00	0,00	32,30	0,00	ATTIC			
F5	F5-01	F5-02	F5-02	F5-03	F5-04	F5-05	F5-06	F5-07	F5-07	F5-08	F5-09	F5-10	F5-11	F5-12				
	37,98	42,76	42,76	8,32	30,47	3,37	21,15	0,00	0,00	43,82	20,03	27,41	32,86	21,18				
F4	F4-01	F4-02	F4-02	F4-03	F4-04	F4-05	F4-06	F4-07	F4-07	F4-08	F4-09	F4-10	F4-11	F4-12				
	0,00	0,00	0,00	52,98	26,00	23,14	55,58	52,51	52,51	32,62	61,86	23,84	22,23	9,68				
F3	F3-01	F3-02	F3-02	F3-03	F3-04	F3-05	F3-06	F3-07	F3-07	F3-08	F3-09	F3-10	F3-11	F3-12				
	42,69	0,00	0,00	28,51	39,94	37,99	23,27	20,35	20,35	1,29	0,00	33,08	33,06	38,23				
F2	F2-01	F2-02	F2-02	F2-03	F2-04	F2-05	F2-06	F2-07	F2-07	F2-08	F2-09	F2-10	F2-11	F2-12				
	56,24	0,00	0,00	48,07	2,21	32,36	24,38	21,47	21,47	49,64	52,74	0,00	22,18	37,96				
F1	F1-01	F1-02	F1-02	F1-03	F1-04	F1-05	F1-06	F1-07	F1-07	F1-08	F1-09	F1-10	F1-11	F1-12				
	39,52	4,15	4,15	40,87	34,09	30,18	29,41	36,97	36,97	7,72	43,36	37,87	0,00	0,00				
F0	F0-01	F0-02	F0-02	F0-03	F0-04	F0-05	F0-06		F0-06	F0-07	F0-08	F0-09	F0-10					
	62,44	62,44	62,44	48,91	55,27	38,51	38,42		38,42	56,11	44,43	46,02	30,51					

Questo valore, tuttavia, non consente ancora di effettuare un confronto oggettivo con gli indicatori EP_H dell'Attestato di Certificazione Energetica in quanto non considera completamente l'effetto degli impianti. Si è proceduto quindi ad effettuare una stima dei rendimenti dei diversi sottosistemi, sulla base dei dati acquisiti dalla documentazione ufficiale, e alla conseguente valutazione del fabbisogno di energia primaria reale. Questa operazione ha permesso di stabilire un fabbisogno di energia primaria reale più basso rispetto a quanto calcolato con procedura CENED e pari a 20,9 kWh/m²anno < 27,1 kWh/m²anno, confermando, nella sostanza, una coerenza effettiva tra le prestazioni energetiche preventivate e quelle poi rilevate mediante la campagna di monitoraggio.

Il monitoraggio eseguito nell'edificio oggetto di studio ha inoltre consentito di effettuare molteplici verifiche di tipo tecnico. Ne riportiamo alcune.

Come descritto nel precedente capitolo, l'intervento è dotato di impianto di ventilazione meccanica controllata – una soluzione progettuale che ha avuto importanti effetti sul controllo dell'Umidità Relativa, attestando il valore medio rilevato sull'intero periodo al 46%. Basti pensare che in appartamenti di analoga superficie caratterizzati tuttavia da soluzioni impiantistiche standard, e quindi senza impianto di ventilazione, i valori di umidità relativa nella stagione invernale ruotano intorno al 30÷35%. Ben al di sotto delle condizioni ottimali di comfort generalmente riconosciute.

Per quanto concerne le caratteristiche prestazionali dell'involucro edilizio, invece, è stato possibile risalire, attraverso l'analisi dei dati rilevati, al tempo necessario affinché la temperatura interna dell'aria si abbassi di una quantità significativa una volta spento il sistema di riscaldamento. Con maggior precisione, a fronte di una temperatura ambientale esterna di circa 0°C, l'abbassamento di quella interna ha seguito ritmi molto contenuti di 0,1°C/ora. Secondo la medesima logica è stato possibile determinare l'incremento di temperatura dell'aria durante l'accensione degli impianti termici e pari a 1,64°C/ora – un incremento di temperatura rapido che dimostra la grande efficienza sottesa alla tecnologia a pannelli radianti di ultima generazione.

3.2. Risultati del monitoraggio estivo

A differenza di quanto avviene per il periodo invernale, dove, per ogni località presente sul suolo nazionale, è la stessa normativa attualmente in essere¹⁹ a fornire un valore di *Gradi Giorno* statisticamente determinato in funzione della temperatura interna dell'aria fissa a 20°C e sulla cui base è stata effettuata la suddivisione del territorio in *zone climatiche*, per quanto concerne il periodo estivo ciò non avviene. Questa mancanza ha di fatto complicato le elaborazioni inerenti alla campagna di monitoraggio per la stagione calda, rendendo necessario calcolare al contempo i *Gradi Giorno reali*, e quindi determinati sulla base delle effettive condizioni ambientali interne ed esterne per gli appartamenti costituenti il campione d'analisi, e quelli *tipizzati*, ovvero elaborati nell'esplicito intento di supplire al vuoto legislativo ravvisato. Con riferimento a quest'ultima operazione, si è fatto riferimento alle temperature ambientali esterne individuate nell'Anno Tipo realizzato dall'ENEA in accordo alle prescrizioni della norma UNI EN ISO 15927-4 e descritto nel capitolo 2.7. Per quanto

¹⁹ DPR 26 agosto 1993, n. 412 (Regolamento recante norme per la progettazione, l'installazione 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).

concerne invece la temperatura interna si è fatto riferimento a quella rilevata durante la campagna di monitoraggio. La formula utilizzata per il calcolo dei Gradi Giorno è:

$$GG = \sum_{e=1}^n (T_0 - T_e)$$

dove:

- n è il numero di giorni considerato per il periodo estivo;
- T_0 è la temperatura ambiente interna rilevata durante la campagna di monitoraggio;
- T_e è la temperatura esterna media giornaliera.

È bene precisare che nell'equazione appena riportata sono stati considerati solo i momenti della giornata in cui $T_e < T_0$.

Come descritto per il monitoraggio invernale, in questo modo è stato possibile attuare un primo confronto tra il fabbisogno energetico reale, e quindi determinato sulla base dei consumi rilevati per il periodo di riferimento, e quello normalizzato sulla base dei Gradi Giorno statisticamente determinati. La tabella di cui sotto mostra il risultato di questa operazione.

Tab. 13 – Fabbisogno energetico reale e fabbisogno energetico normalizzato sulla base dei GG calcolati

Appartamento		Consumi mensili [kWh]					GG e fabbisogno				
N°	m²	06	07	08	09	TOT.	EP_e	GG_{reali}	GG_{ENEA}	EP_{e,norm}	T_m
3	80,08	144,2	776,2	554,8	570,2	2045,4	25,54	124,61	69,03	14,15	24,26
54	94,36	328,8	468,7	835,7	343,9	1977,1	20,95	109,61	69,03	13,2	25,67
95	79,69	150,4	295,2	192,1	0	637,7	8,0	99,68	69,03	5,54	25,09

Si è dunque proceduto al calcolo dei Gradi Giorno normalizzati ovvero elaborati a partire dalla temperatura interna standard di 26°C, attraverso i quali è stato possibile normalizzare i consumi rilevati per le unità costituenti il campione di analisi: rapportando i valori del fabbisogno energetico con la superficie netta degli appartamenti e tenendo conto dei rendimenti normalizzati degli impianti di condizionamento, si sono dunque ricavati gli indici di fabbisogno di energia espressi in kWh/m²anno.

Tab. 14 – Fabbisogno Energetico normalizzato in funzione della temperatura interna fissata a 26°C

Appartamento		Consumi mensili [kWh]					GG e fabbisogno				
N°	m²	06	07	08	09	TOT.	EP_e	GG_{reali}	GG_{ENEA}	EP_{e,norm}	T_m
3	80,08	144,2	776,2	554,8	570,2	2045,4	25,54	124,61	69,03	22,55	24,26
54	94,36	328,8	468,7	835,7	343,9	1977,1	20,95	109,61	69,03	16,15	25,67
95	79,69	150,4	295,2	192,1	0	637,7	8,0	99,68	69,03	10,61	25,09

L'operazione di normalizzazione, così come precedentemente descritta, si è resa necessaria in quanto la temperatura media rilevata negli appartamenti monitorati è risultata inferiore a quella standard (26°C) e pari a 24,99°C.

In linea teorica, a questo punto, sarebbe stato possibile confrontare i valori ivi ottenuti con l'indice ET_C ufficialmente riportato nell'Attestato di Certificazione Energetica (75,73 kWh/m²anno), il quale risulta tuttavia talmente elevato da rendere superfluo ogni sorta di paragone (ulteriori considerazioni in merito verranno effettuate nel prossimo capitolo). Ad ogni modo, pur non essendo nelle condizioni di raffrontare gli indici di prestazione normalizzati ad alcun valore, né la normativa in vigore esprime alcuna indicazione a riguardo, si ritiene che i consumi rilevati per gli appartamenti oggetto di studio siano assolutamente in linea con le aspettative di efficienza energetica, e che confermino, come avvenuto per il periodo invernale, l'effettivo valore aggiunto delle unità residenziali ad alte prestazioni.

3.3. Risultati delle simulazioni con Anno Meteorologico Reale

Come si è avuto modo di vedere nei due precedenti capitoli, le campagne di monitoraggio invernale ed estivo hanno avuto come obiettivo primario quello di verificare le reali prestazioni energetiche dell'intervento residenziale ubicato in via Pompeo Marchesi, nella periferia Ovest di Milano, avendo come valori di riferimento rispettivamente l' EP_H (27,1 kWh/m²a) e l' ET_C (75,73 kWh/m²a) dichiarati nell'Attestato di Certificazione Energetica. In linea generale i risultati complessivamente ottenuti sono stati più che positivi, confermando al tempo stesso la coerenza sostanziale tra quanto dichiarato e quanto misurato, nonché i vantaggi mediaticamente esaltati e sottesi alla fruizione di unità abitative ad alte prestazioni: segno evidente del fatto che, nonostante le molte incertezze, la pubblica amministrazione sta andando nella giusta direzione.

In virtù di quanto appena detto, e comunque in un processo di ampliamento delle conoscenze raggiunte attraverso le due campagne di monitoraggio per il sistema edilizio oggetto di studio, le simulazioni in regime dinamico condotte in questa fase hanno perseguito il quadruplice obiettivo di:

- allineare i modelli realizzati per il campione d'analisi alle caratteristiche costruttive, impiantistiche e ambientali così come rilevate nel corso delle prove effettuate o, invero, così come riportate nei documenti di progetto;

- verificare i risultati ottenuti attraverso il confronto diretto con gli indici di prestazione normalizzati e rielaborati a partire dai dati campionati da un lato, con i valori di EP_H ed ET_C riportati nell'Attestato di Certificazione Energetica dall'altro;
- appurare a mezzo di prove termoflussimetriche e termografiche le caratteristiche costruttive reali, rispetto a quanto dichiarato nella documentazione ufficiale;
- validare le procedure di calcolo di EnergyPlus per i sistemi costruttivi massivi tipici della cultura edilizia europea.

Questi quattro passaggi, pertanto, si configurano quale legittimazione sufficiente (ma non necessaria, se si assumono a priori e senza spirito critico alcuno l'autoreferenzialità del monitoraggio, nonché l'esattezza degli algoritmi usati dal motore di simulazione) per quello che è stato dichiarato il vero scopo del presente lavoro: indagare la variazione percentuale assoluta dei consumi durante il periodo di raffrescamento in funzione della temperatura di setpoint impostata dall'utenza. Tuttavia per quanto concerne l'approfondimento di questa tematica si rimanda alla lettura del Capitolo 4 – Temperatura di setpoint e consumi estivi.

Ad ogni modo, con riferimento al primo dei quattro punti di cui sopra, l'allineamento dei modelli realizzati ha dovuto tener conto non tanto e non solo delle reali caratteristiche fisiche e impiantistiche del campione d'analisi, ma anche e soprattutto delle condizioni ambientali in cui hanno avuto luogo le due campagne di monitoraggio effettuate. A tal fine, onde evitare di dover normalizzare i risultati ottenuti sulla base dei parametri meteorologici forniti dall'ARPA per i periodi d'interesse, si è fatto direttamente ricorso all'uso del file climatico reale, così come descritto nel capitolo 2.8. Pertanto, per rendere possibile un confronto altrimenti insensato tra gli output di simulazione in regime dinamico e i valori indicati nell'Attestato di Certificazione Energetica, sono stati computati tra i dati di input setpoint di temperatura interna dell'aria per i periodi invernale ed estivo rispettivamente di 20°C e 26°C . Analogamente, nel confronto con i risultati delle due campagne di monitoraggio, sono stati utilizzati i indici di prestazione rilevati e successivamente normalizzati sulla temperatura interna dell'aria mantenuta fissa a 20°C per il periodo invernale e 26°C per l'estivo, sulla base di quanto previsto dalla procedura di calcolo in regime stazionario usata dal software CENED. I due grafici di cui sotto, riportano per gli appartamenti costituenti il campione d'analisi, rispettivamente, gli esiti del confronto messo in campo tra gli indici di prestazione ricavati da simulazioni, campagne di monitoraggio e Attestato di Certificazione Energetica per i periodi invernale ed estivo.

Grafico 03 – Confronto tra gli indici di prestazione da simulazioni, campagne di monitoraggio e ACE (periodo invernale)

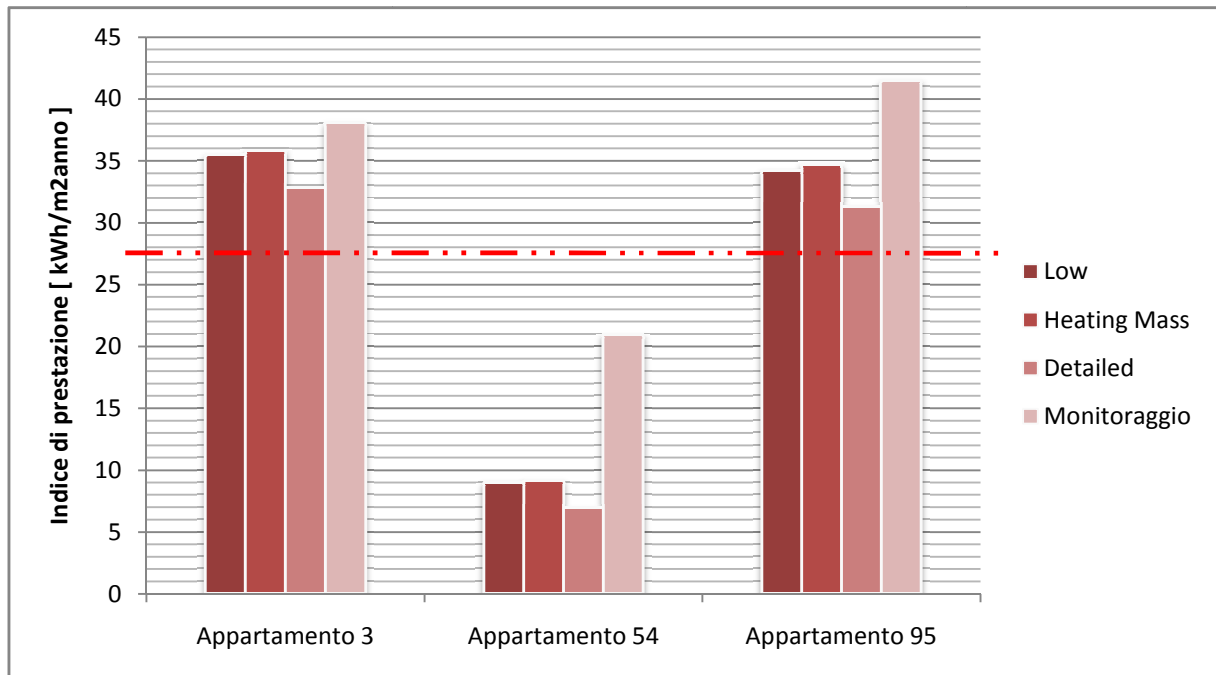
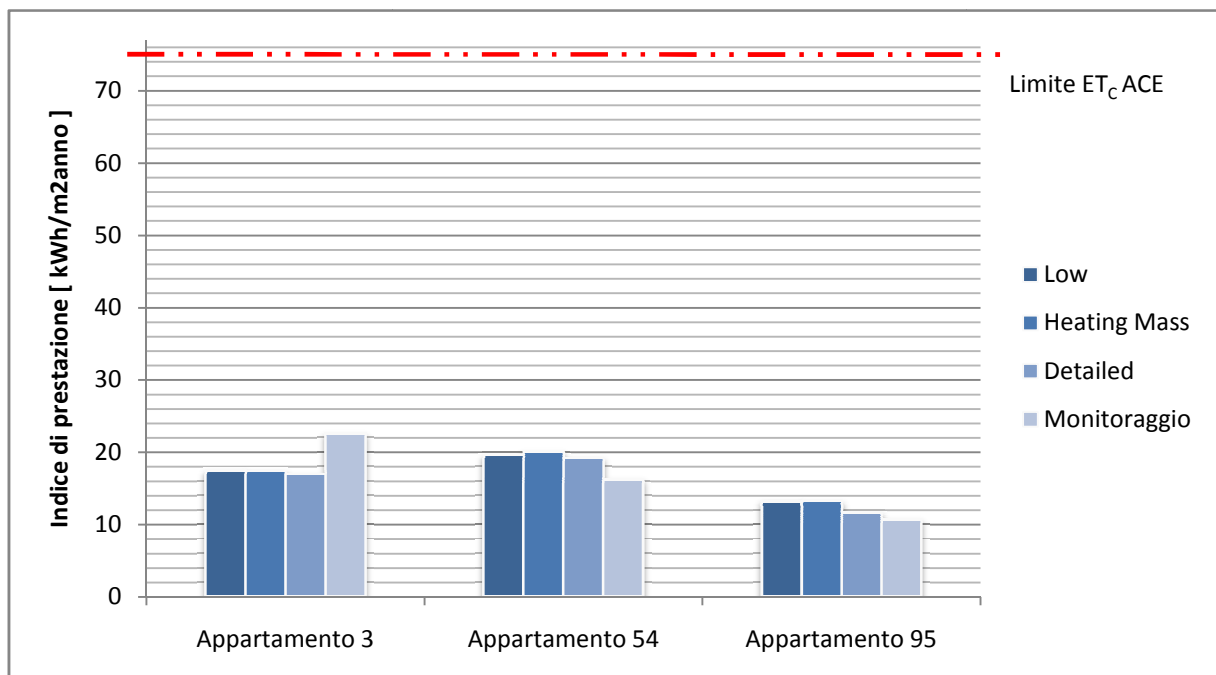


Grafico 04 – Confronto tra gli indici di prestazione da simulazioni, campagne di monitoraggio e ACE (periodo estivo)



I grafici di cui sopra offrono numerosi spunti su cui concentrare l'attenzione, sia di carattere generale, sia puntualmente riferiti rispettivamente al periodo invernale ed estivo.

Per quanto attiene i risultati connessi alla stagione fredda, è bene far notare sin da ora come il fatto che tutti gli indici di prestazione degli appartamenti 3 e 95 siano superiori al valore soglia fissato dall'Attestato di Certificazione Energetica a 27,1 kWh/m²anno, non costituisca in alcun modo una contraddizione rispetto ai contenuti ivi dichiarati, ed è anzi attribuibile alla

posizione relativa delle stesse unità immobiliari all'interno del Blocco 2. Ubicate rispettivamente al Piano Terra e all'ultimo Piano, infatti, queste risultano in possesso di una maggior quantità di superfici disperdenti verso l'esterno o, invero, verso ambienti interni non riscaldati. Pertanto occorre tener presente che l' EP_H contenuto nell'ACE costituisce nient'altro che una media ponderata dei fabbisogni di energia primaria condotta su tutte le unità abitative presenti nell'intervento edilizio di Parco delle Cave e non deve stupire se, ad un'analisi puntuale delle stesse, vi siano casi anche molto discostanti dal valore di benchmark. Con riferimento agli appartamenti 54 e 95, poi, è possibile notare un certo disallineamento tra quanto emerso dalle simulazioni in regime dinamico e i risultati del monitoraggio per il periodo invernale. Ciò è direttamente imputabile alle difficoltà oggettive sottese alla ricostruzione delle condizioni medie reali presenti all'interno degli appartamenti confinanti, per le quali è unicamente possibile effettuare ipotesi. Va da sé che tale ragionamento può essere esteso a tutti gli altri elementi costituenti il campione d'analisi. Tuttavia, quel che conta è che gli esiti delle simulazioni condotte, nelle loro molteplici connotazioni peculiari, confermano a posteriori quanto contenuto nell'Attestato di Certificazione Energetica per il periodo invernale.

Ragionamento diverso va invece condotto per il periodo estivo, dove il problema riscontrato è di ben altra natura: qui il valore di ET_C riportato dall'ACE, con i suoi 75,73 kWh/m²anno, appare assolutamente inverosimile. Pertanto la verifica a campione effettuata con protocollo CENED su alcuni appartamenti presenti all'interno del blocco edilizio oggetto di studio, ha confermato tale dato. Ciò potrebbe essere indizio di un errore presente all'interno della procedura di calcolo per la determinazione del fabbisogno estivo, mal computando, con ogni probabilità, l'effetto di inerzia termica dell'involucro edilizio sui carichi interni.

Sulla base di quanto si è avuto modo di presentare finora, dunque, i modelli simulati si possono dire allineati, seppur continuino a permanere errori legati alle difficoltà oggettive di implementazione delle condizioni al contorno, ed hanno permesso di mettere in evidenza alcune anomalie sottese alla procedura di calcolo attualmente in vigore in Lombardia per la determinazione del fabbisogno estivo delle unità immobiliari. Parallelamente, lo strumento di simulazione in regime dinamico utilizzato ha dimostrato capacità previsionali molto elevate e connotate da margini di errore veramente molto ridotti.

3.4. Determinazione del miglior livello di semplificazione geometrica

Al fine di determinare il miglior livello di semplificazione geometrica adottabile per una simulazione in regime dinamico, quale miglior compromesso tra tempo impiegato per l'implementazione dei dati di input e risultati di output, innanzitutto val bene prendere in considerazione quel che dice in merito il manuale *Input Output Reference* messo a disposizione dagli sviluppatori di EnergyPlus attraverso il sito di riferimento. All'interno del paragrafo *InternalMass* (pag. 232), si dice testualmente che:

“Any surface that would logically be describe as an interior wall, floor or ceiling can just as easily be described as Internal Mass. Internal Mass surface types only Exchange Energy with the zone in which they are described [...]. There are two approaches to using Internal Mass. The first approach is to have several pieces of Internal Mass with each piece having a different construction type. The other approach is to choose an average construction type and combine all of the interior surfaces into a single internal mass [...]. However, simplifying calculations using internal mass must be used with caution when the “FullInteriorAndExterior” or “FullInteriorAndExteriorWithReflections” Solar Distribution model is chosen”.

Da un'attenta lettura della citazione appena proposta è possibile estrapolare due informazioni di fondamentale importanza rispetto alle finalità del presente intervento. Una è di carattere operativo; la seconda, invece, si configura piuttosto come una raccomandazione rivolta all'operatore. Queste sono:

- tutti gli elementi di partizionamento della zona termica considerata, siano essi orizzontali o verticali, possono esser ridotti a “cubetti ideali” descritti in composizione nella scheda *Construction*, alla stregua di tutte le altre superfici costituenti l'involucro edilizio;
- la semplificazione del modello da simulare implementata attraverso l'inserimento di una o più masse interne deve essere usata con estrema cautela nel momento in cui si faccia riferimento al modello di distribuzione solare “*FullInteriorAnd Exterior*” o, in alternativa, a quello indicato con “*FullInteriorAnd ExteriorWithReflections*”.

Queste sono di per sé importanti indicazioni e che, in linea di principio, permettono all'operatore di attuare un'importante scelta preliminare tra la semplificazione del modello geometrico e, invero, la sua complessificazione. Ad ogni modo, in funzione degli obiettivi del presente lavoro, si ritiene opportuno verificare quanto riportato indicato dal manuale, consapevoli del fatto che il *modus operandi* attraverso il quale sono stati realizzati gli

appartamenti di via Pompeo Marchesi, è ben differente da quello americano – riferimento quasi esclusivo per la verifica degli algoritmi di calcolo di cui si compone il motore di simulazione. A tal proposito, non appare certo futile ricordare come siano gli stessi sviluppatori di EnergyPlus, attraverso il documento *EnergyPlus Engineering References*, a ricordare come, in caso di involucro massivo, i risultati potrebbero essere in certa percentuale viziati nella quantità e nella qualità.

Con riferimento ai tre diversi livelli di semplificazione geometrica adottati, la tabella di cui sotto riporta, per gli appartamenti costituenti il campione d'analisi e utilizzati come elementi di confronto per quanto emerso dalle campagne di monitoraggio, gli indici di prestazione ottenuti per il periodo invernale ed estivo, espressi kWh/m²anno, utilizzando quale temperatura di setpoint per le simulazioni in regime dinamico, i valori mediamente rilevati dagli strumenti di campionamento ivi posizionati.

Tab. 15 – Indici di prestazione in kWh/m²anno rilevati per il campione d'analisi ai diversi livelli di dettaglio geometrico

		Heating	Cooling	TOT.
App. 3	Low	37,59	20,57	56,16
	Heating Mass	36,91	24,18	61,09
	Detailed	34,67	19,93	54,60
App. 54	Low	28,25	19,58	47,83
	Heating Mass	27,42	20,06	47,48
	Detailed	23,93	19,11	43,04
App. 95	Low	52,68	17,12	69,80
	Heating Mass	44,74	17,30	62,04
	Detailed	50,29	15,05	65,34

Come si può notare dai dati riportati in tabella, le tre configurazioni geometriche adottate offrono risultati tra loro differenti, soprattutto per quanto concerne i consumi per il periodo di riscaldamento invernale al dettaglio *Detailed*. Tuttavia, confrontando gli indici di prestazione calcolati con quelli reali e pari rispettivamente a 38,51 kWh/m²anno e 25,54 kWh/m²anno per l'appartamento 3; 26,00 kWh/m²anno e 21,43 kWh/m²anno per l'appartamento 54, e 52,68 kWh/m²anno e 8,00 kWh/m²anno per l'appartamento 95, si può concludere sostenendo che effettivamente il miglior compromesso tra risultati offerti e rapidità di computazione è offerto dai modelli definiti *Heating Mass*. La tabella di cui sotto dimostra tale conclusione, mettendo in evidenza la differenza percentuale tra quanto calcolato e quanto rilevato durante la campagna di monitoraggio.

Tab. 16 – Differenza percentuale tra indici di prestazione calcolati e rilevati in kWh/m²anno

		<i>Heating</i>	<i>Cooling</i>	<i>Tot.</i>	<i>Diff. %</i>
<i>App. 3</i>	<i>Monitoraggio</i>	38,51	25,54	64,05	---
	<i>Low</i>	37,59	20,57	56,16	-12,31 %
	<i>Heating Mass</i>	36,91	24,18	61,09	-4,6 %
	<i>Detailed</i>	34,67	19,93	54,60	-14,75 %
<i>App. 54</i>	<i>Monitoraggio</i>	26,00	21,43	47,43	---
	<i>Low</i>	28,25	19,58	47,83	0,85 %
	<i>Heating Mass</i>	27,42	20,06	47,48	0,10 %
	<i>Detailed</i>	23,93	19,11	43,04	-9,25 %
<i>App. 95</i>	<i>Monitoraggio</i>	52,68	8	60,68	---
	<i>Low</i>	44,74	17,12	69,80	15,02 %
	<i>Heating Mass</i>	50,29	17,30	62,04	2,24 %
	<i>Detailed</i>	46,03	15,05	65,34	7,67 %

Ad ogni modo, nonostante i risultati estremamente positivi ottenuti e che validano non solo le procedure di calcolo adottate dal software, ma anche e soprattutto il lavoro svolto per le due campagne di monitoraggio dal prof. Giuliano Dall’Ó e dai suoi collaboratori, si tiene a far presente che, per quanto concerne il modello di distribuzione solare, è stata utilizzata l’opzione “*FullInteriorAndExteriorWithReflections*” (tale precisazione fa riferimento alla raccomandazione esplicitata dal manuale d’uso di EnergyPlus e sopra riportata). Il fatto che non vi siano stati errori percepibili nel calcolo può essere dovuto alle dimensioni tutto sommato ridotte degli elementi costituenti il campione d’analisi. Non si hanno tuttavia dati sufficienti per avvalorare quella che, allo stato attuale, è destinata a rimanere nient’altro che un’ipotesi.

3.5. Risultati delle prove termoflussimetriche

Nel capitolo 2.9 si è avuto modo di mostrare l’importanza che hanno avuto, ai fini del presente lavoro, le verifiche delle prestazioni energetiche reali dell’involucro edilizio a mezzo di prove termoflussimetriche. Pertanto, in tale occasione, l’attenzione era stata focalizzata sui risultati ottenuti, nella determinazione della conduttanza, rispettivamente con i metodi delle *Medie Progressive* e *Black-box*. In questo intervento, invece, saranno valutati gli altri parametri registrati nel corso della medesima rilevazione, ovvero il flusso termico specifico [W/m²] e le temperature superficiali interna ed esterna [°C].

Prima di procedere oltre, occorre fare una precisazione: mentre per la determinazione della conduttanza, il metodo *Black-box* è stato quello che ha mostrato il maggior grado di attendibilità in funzione delle caratteristiche fisiche dell’edificio oggetto di studio, tuttavia in

questo caso non è utilizzabile. Infatti, solo il metodo delle Medie Progressive permette di risalire rispettivamente al flusso termico specifico e alle temperature superficiali della parete studiata. Va da sé, che questi parametri, così calcolati, risentono indubbiamente del minor valore di conduttanza ($0,2067 \text{ W/m}^2\text{K}$) determinato dal metodo in questo caso utilizzato. Anzi, ad esser precisi è proprio la conduttanza ad esser determinata dallo strumento di misura in funzione delle temperature superficiali interna ed esterna e del flusso di calore specifico progressivamente registrati. Un serpente che si morde la coda. Ad ogni modo, almeno per quanto riguarda la dispersione termica, è possibile ovviare al problema ricorrendo ancora una volta alla normalizzazione del risultato in funzione della conduttanza ottenuta con il metodo Black-box ($0,2844 \text{ W/m}^2\text{K}$). Per quanto concerne invece le temperature superficiali interna ed esterna, si è fatto riferimento direttamente ai valori registrati dal termoflussimetro a tre sonde con periodo di campionamento di 15 minuti.

Le simulazioni in regime dinamico sono state quindi condotte usando al contempo tutti i seguenti file climatici:

- Anno Tipo realizzato con metodo di estrazione “canadese” e messo a disposizione dal sito internet di EnergyPlus;
- Anno Tipo realizzato dall’ENEA con metodo di estrazione CNR, sulla base di quanto prescritto dalla Norma UNI EN ISO 15927-4;
- Anno Reale realizzato a partire dalle grandezze orarie registrate per l’anno 2011 (ndr. Quello in cui sono state condotte le campagne di monitoraggio) dall’ARPA.

Questa scelta trova fondamento nella volontà di individuare primariamente le differenze dei risultati di calcolo in funzione dei dati climatici adottati e valutare così la risposta del programma al variare degli stessi. Con maggior dettaglio, gli Anni Tipo servono ad effettuare maggiori e più puntuali considerazioni intorno alle capacità predittive del motore di simulazione. L’Anno Reale, invece, serve a verificare l’eventuale aderenza tra quanto rilevato empiricamente e quanto simulato per la medesima finestra temporale. La verifica, dunque, è stata effettuata a mezzo di confronto per tutti i livelli di semplificazione adottati per il solo Appartamento n°77, in quanto quello in cui la prova è stata effettivamente condotta.

Con riferimento alla valutazione delle capacità predittive del motore di simulazione circa le temperature superficiali dell’involucro edilizio in funzione dello specifico Anno Tipo usato, i tre grafici di cui sotto mostrano l’andamento temporale delle temperature stesse per il livello di semplificazione geometrica Heating Mass²⁰ per quanto registrato dallo strumento e quanto

²⁰ La decisione di mostrare l’andamento delle temperature superficiali per la sola configurazione Heating Mass, nasce dall’aver riscontrato differenze percentuali, tra le tre proposte, trascurabili e inferiori all’1%.

calcolato rispettivamente con Anno Tipo “Canadese” e Anno Tipo “ENEA”. Pertanto quello di confronto finale dovrebbe permettere di valutare già a livello grafico quali siano le reali potenzialità di EnergyPlus in merito alla predizione delle temperature superficiali interna ed esterna (la finestra temporale cui fanno riferimento tutte le elaborazioni a venire va dal 25 gennaio 2012 alle ore 14:55 al 2 febbraio 2012 alle ore 14:55).

Grafico 05 – Temperature superficiali misurate e calcolate con Anno Tipo “Canadese”

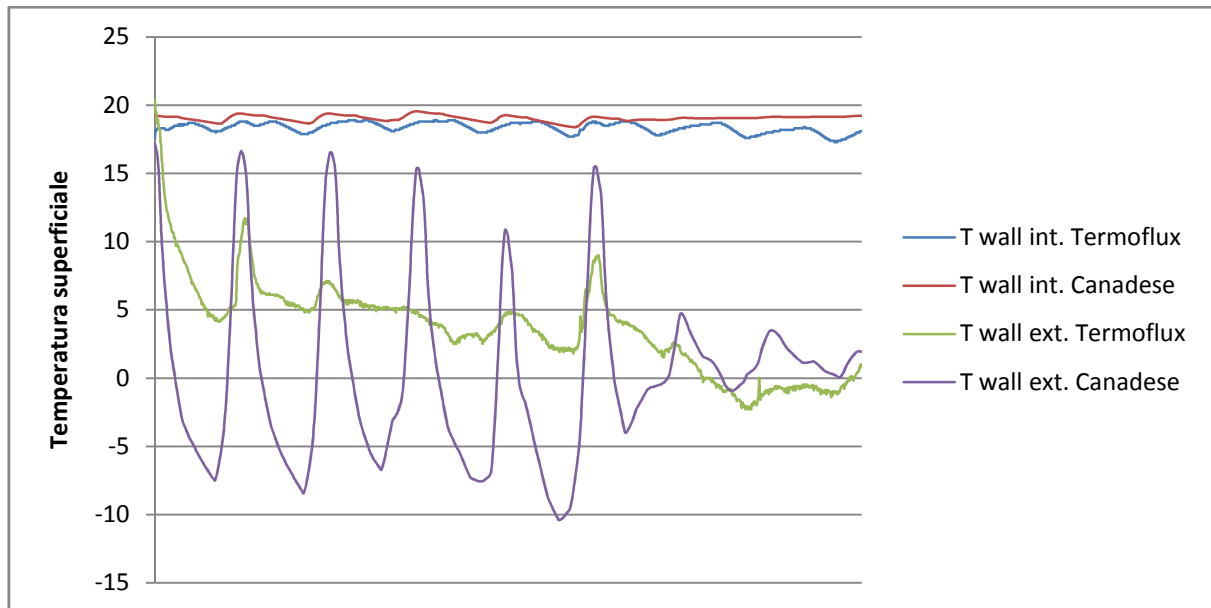


Grafico 06 – Temperature superficiali misurate e calcolate con Anno Tipo “ENEA”

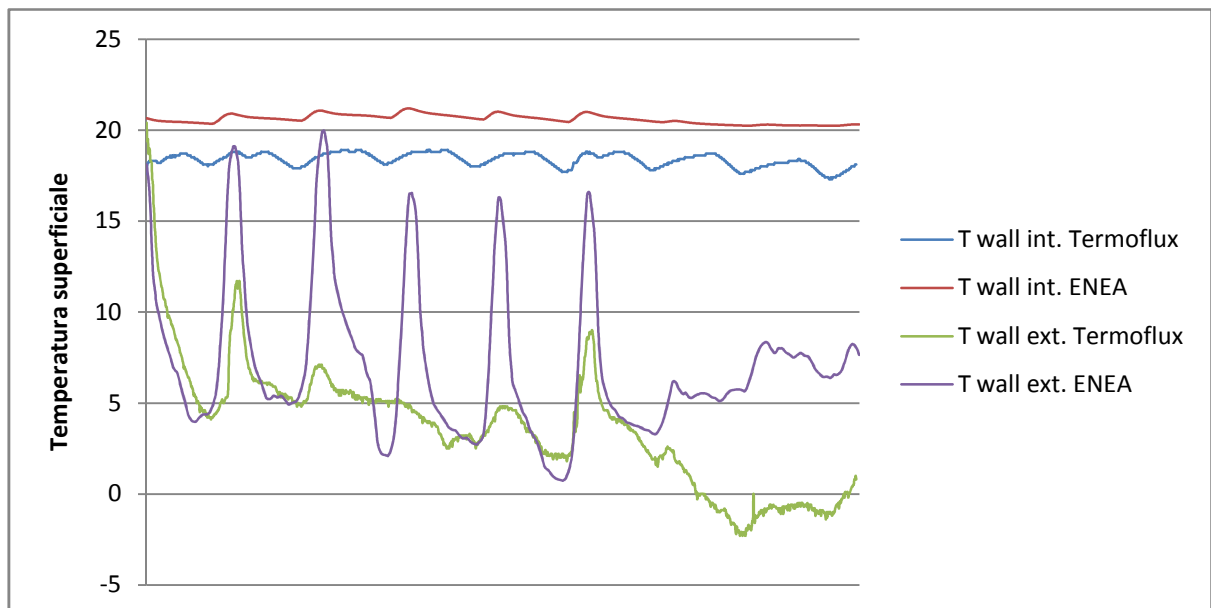
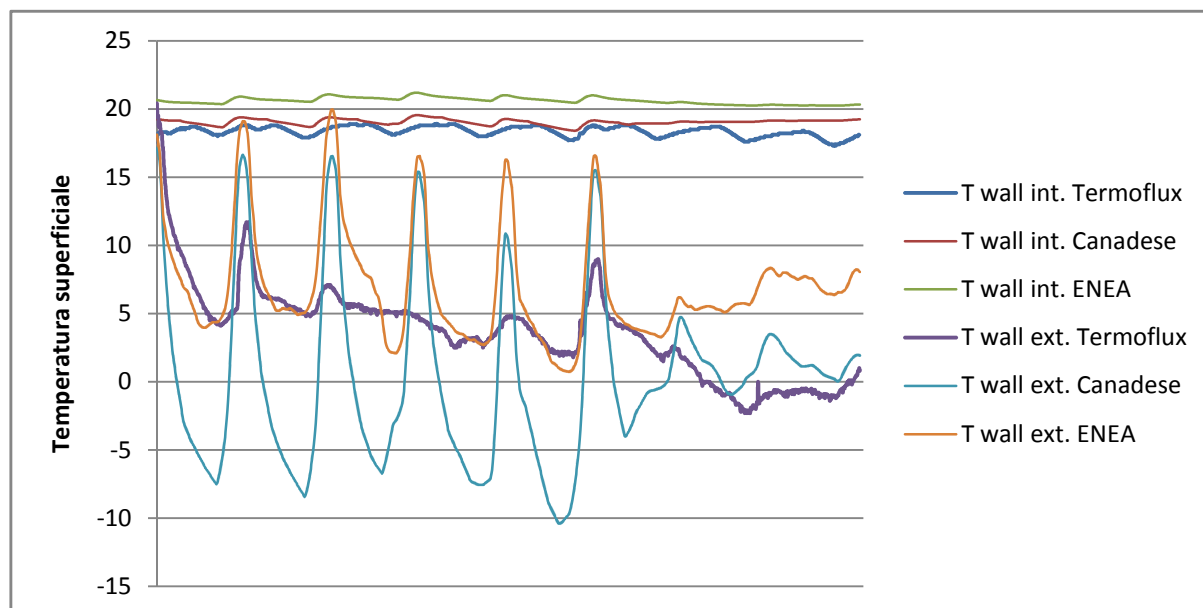


Grafico 07 – Temperature superficiali misurate e calcolate con Anno Tipo a confronto



Diverse sono le desunzioni che è possibile effettuare osservando i grafici appena presentati. Per questioni di ordine e chiarezza espositiva, innanzitutto, val bene distinguere le temperature superficiali interne, sia rilevate che calcolate, da quelle esterne.

Con un valore medio di 3,699°C, la temperatura superficiale esterna rilevata dal termoflussimetro si discosta sensibilmente da quelle calcolate rispettivamente con Anno Tipo “alla Canadese” (0,236°C) e con Anno Tipo realizzato secondo le direttive della Norma UNI EN ISO 15927-4. Ciò è primariamente dovuto alla natura statistica insita nella costruzione dell’Anno Tipo che, come si è avuto modo di vedere nei capitoli 2.7 e 2.8, hanno la funzione di individuare un andamento medio e statisticamente verosimile dei principali parametri ambientali riscontrabili in una data città. Allo stesso motivo è pure dovuta la forte periodicità giornaliera che caratterizza l’andamento delle temperature superficiali esterne calcolate con Anno Tipo. Questo evidentemente non avviene con le temperature rilevate dalla sonda esterna del termoflussimetro. O meglio, la periodicità, pure riscontrabile, non è così marcata ed evidente come per le altre due elaborazioni studiate – di fatto, espressione diretta della dinamicità dell’ambiente esterno. I grafici che seguono mettono in evidenza, per la medesima finestra temporale, le correlazioni esistenti tra temperatura ambientale esterna e temperatura superficiale esterna, per le medesime modalità di elaborazione.

Grafico 08 – Correlazione tra temperatura ambientale e temperatura superficiale esterna (Anno Tipo “Canadese”)

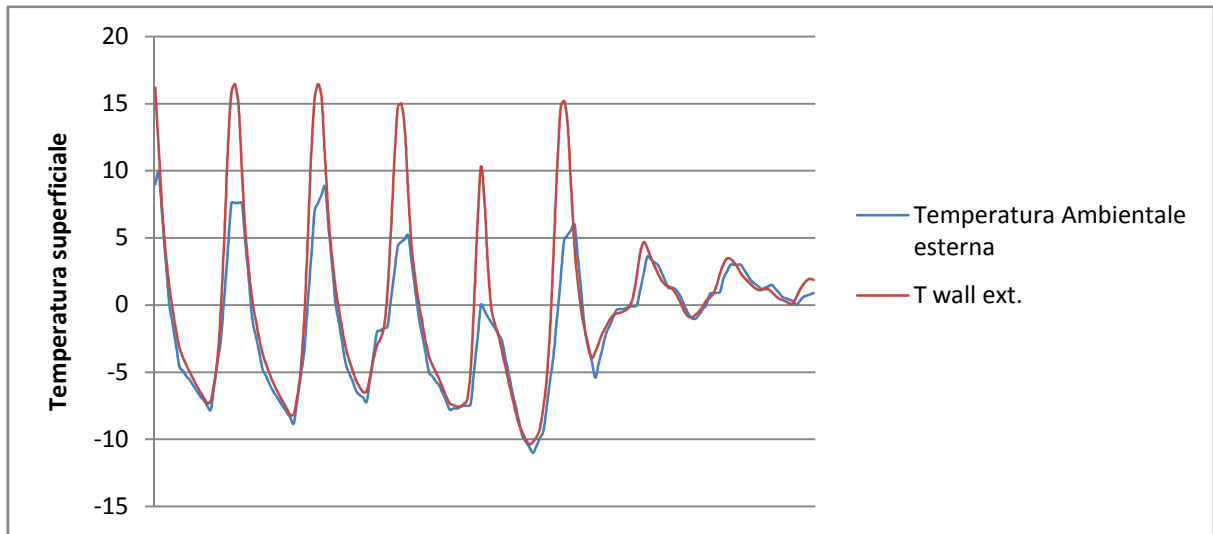


Grafico 09 – Correlazione tra temperatura ambientale e temperatura superficiale esterna (Anno Tipo “ENEA”)

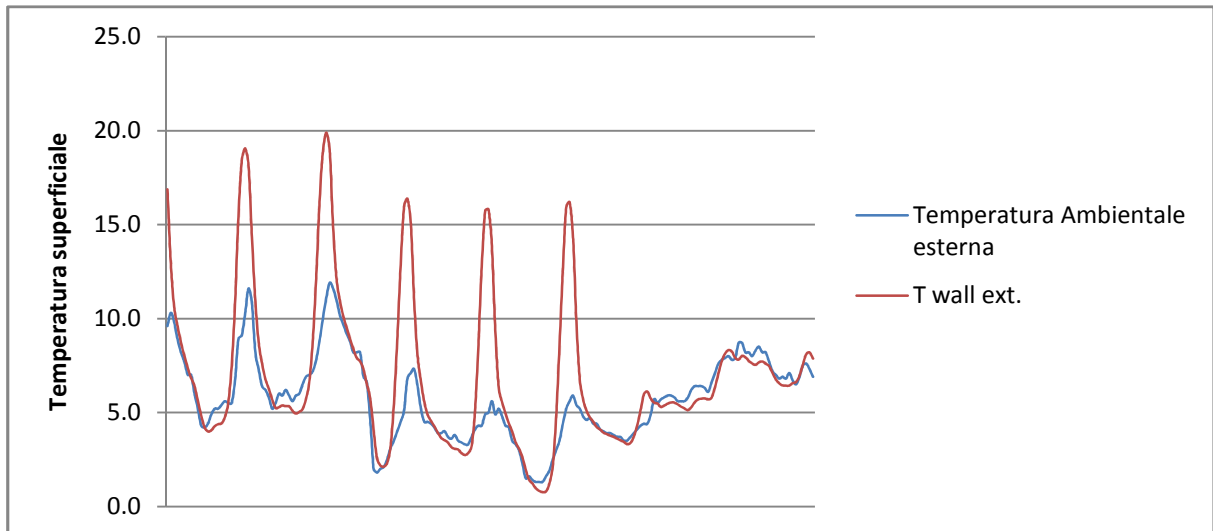
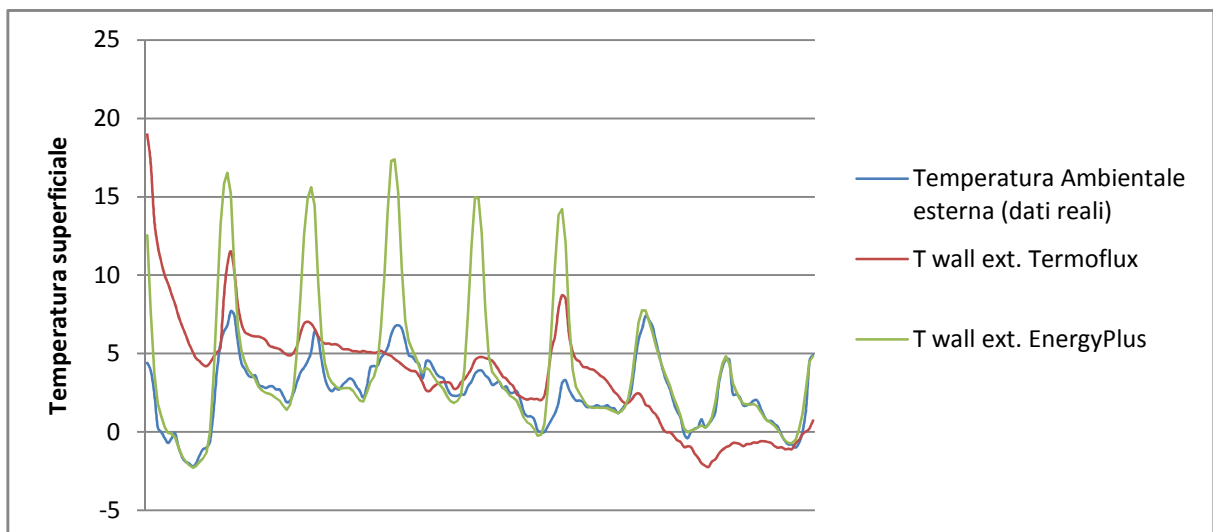


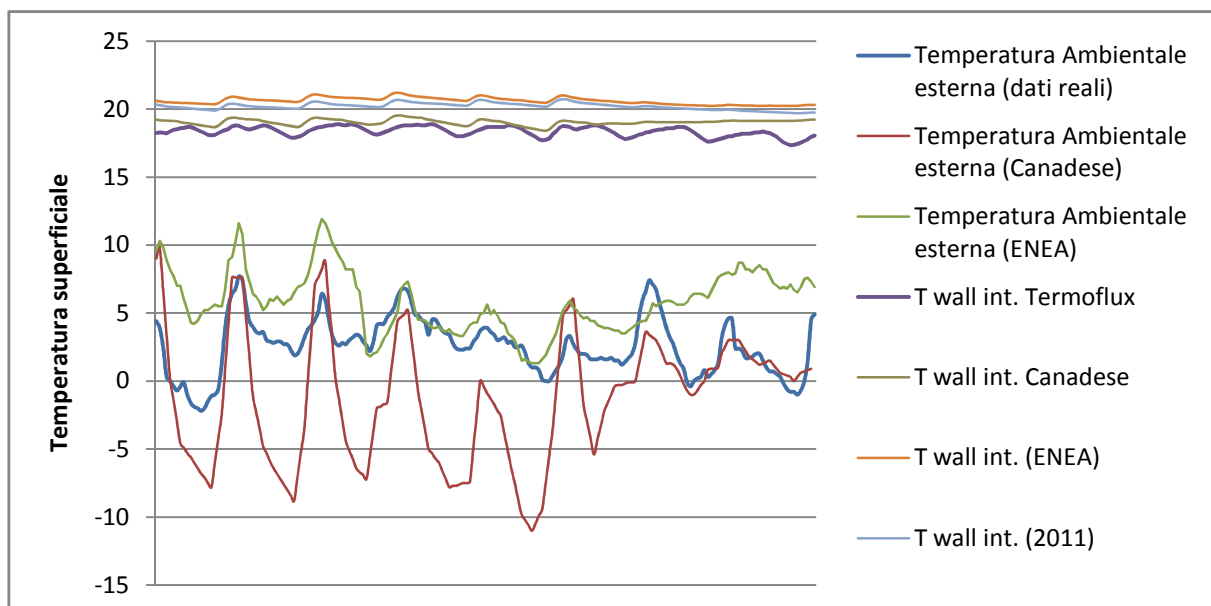
Grafico 10 – Correlazione tra temperatura ambientale reale e temperatura superficiale esterna (Valori misurati)



Si ritiene che quest'ultima elaborazione, mettendo in relazione il rapporto che sussiste tra la temperatura ambientale esterna e la temperatura superficiale esterna della parete oggetto di studio, sia la migliore al fine di valutare le capacità predittive di EnergyPlus. Pertanto, attraverso il confronto diretto tra quanto calcolato con il motore di simulazione e quanto rilevato empiricamente con la prova termoflussimetrica (Grafico 08) è possibile notare un'effettiva aderenza dei risultati computati con quelli reali, seppur continuino ad essere evidentemente affetti da una periodicità molto marcata – fatto questo ascrivibile alle peculiarità di calcolo dei logaritmi utilizzati dal programma. Tuttavia, confrontando le due temperature medie ottenute per la medesima finestra temporale e pari rispettivamente a 3,699°C per quella rilevata e 3,956°C per quella calcolata con l'ausilio dei dati meteorologici reali, ci si rende subito conto delle grandi potenzialità dimostrate in tal senso dal software utilizzato. Va da sé che, volendo usare EnergyPlus a scopo predittivo, non è assolutamente possibile far riferimento a dati reali, essendo i parametri ambientali fortemente suscettibili di variazione di anno in anno per il medesimo lasso di tempo considerato, e in maniera difficilmente prevedibile. A tal fine, occorre dunque usare un Anno Tipo. Per quanto si è avuto modo di vedere nel corso delle diverse elaborazioni, quello che presenta il maggior grado di aderenza alle caratteristiche tipiche del clima della città di Milano è quello elaborato secondo la procedura esemplificata dalla Norma UNI EN ISO 15927-4.

Ragionamento diverso va invece fatto per la previsione della temperatura superficiale interna. Il grafico che segue mette in relazione le temperature ambientali esterne con quelle superficiali interne, sia rilevate che calcolate.

Grafico 11 – Correlazione tra temperatura ambientale esterna e temperatura superficiale interna



Com'è possibile osservare tutte le temperature superficiali interne risentono ovviamente della medesima periodicità caratterizzante l'andamento di quella ambientale esterna, seppur risulti molto meno accentuata (effetto evidente dell'elevato sfasamento termico dell'elemento considerato). Tuttavia per quanto concerne il relativo valore medio, l'unico ad avvicinarsi a quanto rilevato dal termoflussimetro (18,366°C) è quello calcolato con l'Anno Tipo "Canadese" (19,04°C). Occorre però notare che detto Anno Tipo riporta per il medesimo periodo temperature ambientali di gran lunga inferiori rispetto alle altre considerate. Pertanto, la non rispondenza del valore medio calcolato con i parametri climatici reali (20,201°C) con quello rilevato in sito, può dunque essere attribuita ad una differenza di setpoints di temperatura (non verificata) tra quanto compilato nel motore di simulazione e quanto realmente impostato nel termostato dell'unità immobiliare oggetto di studio.

Per quanto concerne, invece, la verifica del flusso termico specifico q (W/m²), la tabella che segue mostra i valori medi ottenuti e normalizzati rispetto al ΔT rilevato in sito per tutte le elaborazioni effettuate nonché la relativa differenza percentuale rispetto a quanto calcolato con il metodo delle Medie Progressive e successivamente normalizzato rispetto al valore di conduttanza ottenuto con il metodo Black-box.

Tab. 17 – Valutazione del flusso termico specifico attraverso la parete oggetto di studio

	$q_{termoflux}$	$q_{termoflux_Norm}$	$q_{can. / norm.}$	$q_{ENEA / norm.}$	$q_{2011 / norm.}$
W/m^2	4,2366	4,42	5,63 4,39	4,085 4,39	4,87 4,39
$\Delta T [^{\circ}C]$	16,17		20,7	15,02	17,91

Com'è possibile osservare dalla tabella, la normalizzazione del flusso termico specifico calcolato attraverso il motore di simulazione in funzione dei diversi Anni Tipo rispetto al ΔT per la parete oggetto di studio ha portato a risultati estremamente interessanti. Se si prende in considerazione il flusso normalizzato e identificato con q_{Norm} , infatti, è stata riscontrata una differenza percentuale rispetto a quanto determinato empiricamente di solo lo 0,67%. Certo bisognerebbe tener conto dell'incertezza legata alla sensibilità dello strumento utilizzato per le rilevazioni; pertanto l'esiguità del campione d'analisi non permette di trarre conclusioni definitive. Tuttavia è lecito ritenere che, data la trascurabilità della differenza percentuale riscontrata, EnergyPlus ha dimostrato ancora una volta di essere un ottimo strumento di simulazione. Questa, pertanto, risulta essere un'ulteriore prova dell'importanza di usare, per le simulazioni in regime dinamico, un Anno Tipo coerente con le caratteristiche ambientali mediamente rilevate per l'area di progetto.

TEMPERATURA DI SETPOINT E CONSUMI ESTIVI

4.1. I sondaggi condotti e l'influenza della temperatura di setpoint

I risultati della campagna di monitoraggio condotta per il periodo estivo, così come presentati nel capitolo 3.2, hanno messo in evidenza un sostanziale allineamento tra quanto rilevato empiricamente e quanto emerso dalle simulazioni in regime dinamico condotte sugli appartamenti costituenti il campione d'analisi. La medesima corrispondenza non è stata tuttavia confermata dal confronto dell'indice di prestazione calcolato a partire dai consumi reali di tutte le unità immobiliari del blocco 2 con quello ufficialmente registrato attraverso l'Attestato di Certificazione Energetica. Le possibili motivazioni alla base di questo disallineamento sono essenzialmente due:

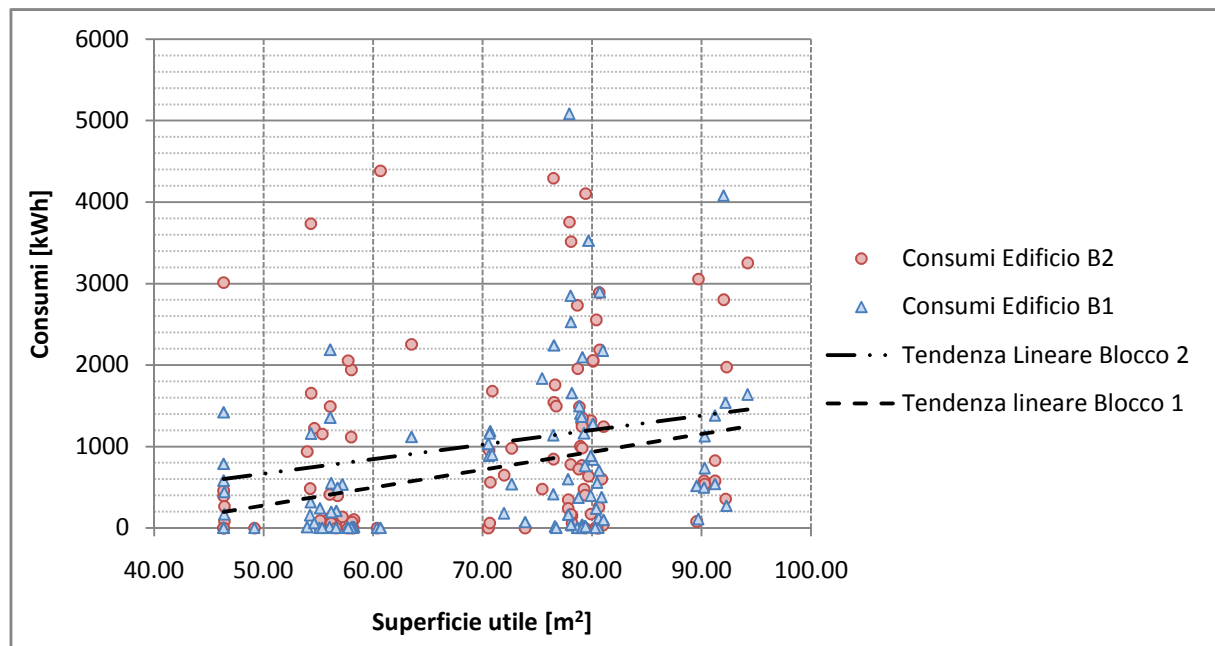
- un errore nell'implementazione del modello all'interno del software CENED, usato per l'emanazione dell'ACE;
- un errore all'interno delle procedure di calcolo usate dal software per il calcolo dell'indice di prestazione dell'edificio per il periodo estivo.

Tuttavia quelle appena proposte non sono che ipotesi difficilmente verificabili, visti i tempi necessari per l'una e per l'altra possibilità. Quel che è certo è che, a differenza di quanto avviene per il periodo invernale, il comportamento estivo del sistema edilizio, tanto nel suo continuo rapporto di interrelazione con le condizioni al contorno, quanto nell'influenza che i modi d'uso caratteristici dell'utenza hanno sui consumi stagionali, è ancora scarsamente studiato e di fatto non vi sono strumenti di agile consultazione atti a permetterne una discreta valutazione preventiva. Si pensi, a titolo d'esempio, ai Gradi Giorno: mentre per il periodo di riscaldamento è la stessa normativa in essere a fornire indicazioni circa le modalità di calcolo da adottare per la loro definizione, nonché la relativa quantificazione elaborata su base statistica per le diverse località sparse sul suolo nazionale, per quanto concerne il condizionamento estivo, invece, non esiste alcuna informazione a riguardo. Da qui la necessità, per il processo di normalizzazione dei dati del monitoraggio, di ricreare i Gradi Giorno a partire dall'Anno Tipo costruito dall'ENEA sulla base delle indicazioni della norma UNI EN ISO 15927-4 per la città di Milano.

Ad ogni modo, per quanto le simulazioni in regime dinamico condotte sul campione d'analisi siano allineate con quanto rilevato per le medesime unità immobiliari durante la campagna di monitoraggio estivo, è bene sottolineare come all'interno del blocco 2 del Parco

delle Cave esistano molteplici alloggi che hanno di fatto consumi anche molto diversi rispetto alla media, sia in senso positivo che negativo. Le motivazioni, anche in questo caso possono essere molteplici e vanno dall'orientamento prevalente alla posizione, passando per le modalità di utilizzo che la specifica utenza ne fa. Queste ultime, pertanto, sono parse sin dall'inizio la discriminante principale per la definizione dell'indice di prestazione energetica reale, tanto da rendere necessaria un'azione mirata a comprenderne per quanto possibile le dinamiche. Il grafico che segue mostra graficamente la dispersione dei consumi rilevati per tutti gli appartamenti del blocco 2 e, direttamente o indirettamente, coinvolti nella campagna di monitoraggio condotta per il periodo estivo. Pur non essendo oggetto di studio, sono stati inoltre presi in considerazione i consumi afferenti alle unità immobiliari del blocco 1, al fine di verificare la presenza di una qualche correlazione evidente tra i due interventi edilizi.

Grafico 12 – Dispersione dei consumi in funzione della superficie utile per i blocchi residenziali 1 e 2



Se pur la maggioranza delle unità residenziali sia addensata, in funzione della superficie che le caratterizza, al di sotto delle due linee di tendenza disegnate rispettivamente per i blocchi 1 e 2, tuttavia è possibile notare come una percentuale non indifferente sul totale abbia consumi ben superiori a quelli attesi per il medesimo taglio. Purtroppo siffatta elaborazione non ha fatto che confermare la necessità di capire le cause sottese alla distribuzione individuata, spostando l'attenzione, non già sulle caratteristiche costruttive dell'intervento oggetto di studio, quanto piuttosto sulle modalità attraverso le quali l'utenza interagisce con la propria abitazione.

A tal fine, è stato dunque redatto un breve questionario, costituito di sei domande mirate alla conoscenza di alcune informazioni necessarie per la corretta interpretazione dei dati rilevati. Questo risulta così articolato:

1. Da quante persone è composto il nucleo familiare?

Bambini		Adulti		Anziani	
---------	--	--------	--	---------	--

2. Indicare orientativamente quante ore del giorno passa in casa e in quali fasce orarie (indicare anche eventuali periodi di vacanza per l'estate 2011).

Mattina			Pomeriggio			Sera			Notte		
6/8	8/10	10/12	12/14	14/16	16/18	18/20	20/22	22/24	24/2	2/4	4/6

Vacanze 2011	dal:		al:	
--------------	------	--	-----	--

3. Durante i periodi di assenza il sistema di raffrescamento è rimasto in funzione?

SI	NO
----	----

4. In quali fasce orarie le tapparelle vengono chiuse o socchiuse per evitare il surriscaldamento dei locali interni?

Mattina			Pomeriggio			Sera			Notte		
6/8	8/10	10/12	12/14	14/16	16/18	18/20	20/22	22/24	24/2	2/4	4/6

5. Durante il periodo estivo (da Giugno a Settembre) per quante ore mediamente il sistema di raffrescamento è rimasto in funzione e a quale temperatura era impostato?

Mattina			Pomeriggio			Sera			Notte		
6/8	8/10	10/12	12/14	14/16	16/18	18/20	20/22	22/24	24/2	2/4	4/6

Temperatura impostata	
-----------------------	--

6. Descriva le condizioni di comfort percepito durante il periodo estivo.

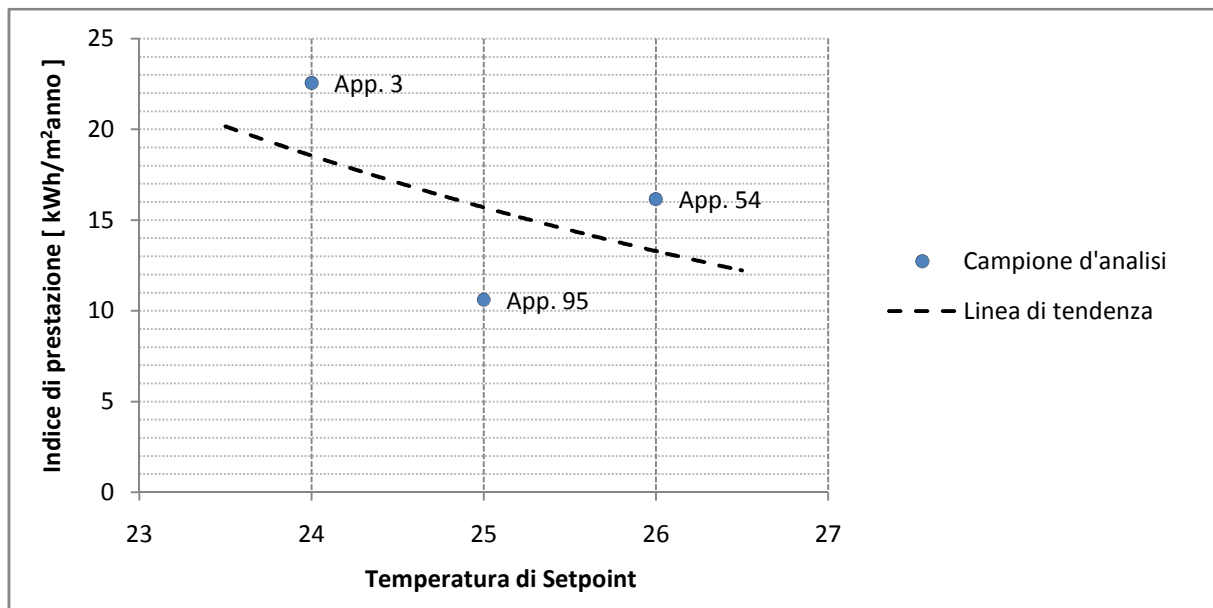
Insufficiente	Sufficiente	Buono	Ottimo
---------------	-------------	-------	--------

I risultati ottenuti hanno restituito, come previsto, un'immagine estremamente eterogenea delle modalità con cui l'utenza gestisce la propria unità immobiliare e comunque tale da essere difficilmente utilizzabile ai fini del presente lavoro. Ad ogni modo, particolarmente interessanti sono gli esiti delle domande 4 e 6. Da queste, infatti, è stato possibile desumere, al di là dei particolarismi caratterizzanti i singoli nuclei familiari, la diversa concezione di vivere gli spazi da parte dell'utenza, anche intorno a questioni determinanti per la riduzione dei consumi stagionali quali, appunto, la chiusura delle tapparelle o l'impostazione della

temperatura di setpoint interna. Pertanto è proprio intorno a questi parametri che sembra possibile stabilire, intuitivamente, un parallelismo sufficientemente valido tra abitudini e indice di prestazione reale, calcolato per la stagione estiva 2011 a partire dai dati di consumo rilevati attraverso la campagna di monitoraggio effettuata. Rimane tuttavia da capire in che modo e secondo quale percentuale questi fattori incidono sui consumi stagionali.

Attraverso il presente capitolo, dunque, si è cercato di quantificare l'incidenza della temperatura di setpoint sulle prestazioni complessive degli appartamenti costituenti il campione d'analisi, al fine di avere maggiori e più puntuali informazioni attraverso cui trarre le dovute conclusioni sugli esiti del monitoraggio. Non è stato, invece, oggetto di interesse l'influenza che l'uso delle tapparelle ha avuto sui consumi in raffrescamento: la *componente soggettiva* nelle modalità con cui queste possono esser gestite dall'utenza è tale da non permetterne, almeno sulla base delle informazioni attualmente disponibili, una coerente quantificazione. Il grafico di cui sotto mostra la curva ricreata a partire dal rapporto rilevato tra indice di prestazione reale e temperatura di setpoint dichiarata nel questionario²¹.

Grafico 13 – Rapporto tra indice di prestazione e temperatura di setpoint reali per il campione d'analisi



La curva di tendenza così ottenuta è stata dunque confrontata con quelle ricostruite in funzione degli esiti delle simulazioni in regime dinamico per i medesimi appartamenti e descritte nel prossimo capitolo.

²¹ Le temperature medie rilevate dai mini data logger all'interno degli appartamenti costituenti il campione d'analisi, nonché il loro andamento durante il corso della giornata, non solo hanno confermato quanto dichiarato dalle utenze durante le interviste condotte, ma hanno chiaramente lasciato intendere una modalità di gestione dell'impianto di condizionamento unicamente basata sulla temperatura di setpoint dell'aria interna – fatto, questo, che ha notevolmente semplificato l'implementazione dei modelli per le simulazioni in regime dinamico.

4.2. Obiettivi e nuove semplificazioni adottate

Le simulazioni in regime dinamico condotte per lo sviluppo del capitolo 3 si sono riservate il molteplice scopo di:

- allineare i modelli costruiti ai parametri sistemici di progetto, nonché a quelli ambientali rilevati in loco attraverso le campagne di monitoraggio;
- rapportare i dati di consumo calcolati attraverso il motore di simulazione a quelli individuati nella realtà per il campione d'analisi;
- confrontare la rispondenza tra i valori di consumo determinati in regime dinamico e quanto riportato nell'Attestato di Certificazione Energetica;
- verificare gli algoritmi sottesi al processo di simulazione nella determinazione dei consumi stagionali e del flusso di calore attraverso l'involucro edilizio;
- determinare, in funzione delle risorse impiegate (fattore *tempo* in primis) e dei risultati ottenuti, il miglior livello di semplificazione geometrica adottabile per una qualsiasi simulazione in regime dinamico.

Come si è avuto modo di osservare, i risultati ottenuti sono estremamente interessanti, in quanto, oltre ad evidenziare la notevole precisione di calcolo degli algoritmi usati dal software, rendono manifesto l'effettivo valore aggiunto delle unità immobiliari ad alte prestazioni, seppur analoga considerazione potrebbe essere estesa a tutte le altre tipologie di edifici. Tuttavia, è inutile negare che, con riferimento particolare a quanto emerso dalla campagna di monitoraggio condotta per il periodo estivo, permangono ancora alcune perplessità in merito al rapporto esistente tra temperatura di setpoint interna, modalità di fruizione da parte dell'utenza e consumi stagionali. A tal proposito, si ricorda che una notevole criticità per la definizione empirica degli indici di prestazione di un edificio è proprio quella di scindere la *componente oggettiva*, legata cioè alle caratteristiche costruttive e impiantistiche del sistema considerato, nonché ai parametri ambientali al contorno, da quella *soggettiva*, ovvero derivante dalle infinite possibilità d'uso che si presentano all'operatore. I questionari condotti, da canto loro, hanno permesso di definire solo parzialmente detto rapporto e i margini di errore restano comunque notevoli e di non semplice riduzione. Non bisogna dimenticare infatti che l'implementazione all'interno del modello delle variabili d'uso è operazione estremamente complessa, soprattutto se valutata rispetto alle previsioni di lungo periodo. Ragionamento analogo può inoltre essere condotto rispetto alla definizione dell'influenza che le unità immobiliari confinanti hanno rispetto al microclima interno e per converso sui consumi stagionali valutati rispetto alle medesime condizioni di comfort interno.

Nell'impossibilità di controllare tutte le variabili in gioco, si è dunque ritenuto interessante, prendendo spunto da quanto emerso dai sondaggi, scindere a mezzo di simulazioni in regime dinamico, componente oggettiva e soggettiva così come sopra descritte, cercando di ottenere maggiori e più puntuali informazioni in merito all'incidenza che la temperatura di setpoint ha sui consumi stagionali per il raffrescamento estivo. L'idea di fondo che si intende verificare è che, data l'esiguità del Δ termico tra interno ed esterno, nonché l'estrema soggettività della sensazione di benessere fisico, i consumi legati alla sottrazione di calore dagli spazi abitati crescono esponenzialmente in funzione della progressiva riduzione della temperatura di setpoint interna. Ciò di fatto spiegherebbe l'estrema variabilità nelle contabilizzazioni rilevate per il blocco edilizio oggetto di studio, al di là di qualsiasi considerazione conducibile in merito a orientamento, superfici disperdenti ecc. Con maggior precisione, attraverso il presente capitolo si intende:

- valutare la variazione percentuale dei consumi stagionali che si ottiene attraverso la riduzione progressiva di 1°C della temperatura di setpoint da 28°C a 24°C;
- determinare la modalità di crescita dei consumi per effetto della progressiva riduzione di temperatura e costruire una curva che sia in grado di descriverne l'andamento con più che sufficiente approssimazione;
- confrontare la curva di crescita dei consumi costruita a mezzo di simulazioni con quella elaborata a partire dalle risposte ai sondaggi, così come presentata nel precedente intervento.

Assunto il fatto che allo stato attuale non esistano studi condotti in simile direzione e che anzi, ancora moltissimo lavoro vi è da fare per allineare la conoscenza del comportamento estivo dei sistemi edilizi a quella invernale, gli appartamenti considerati a tal fine sono ancora una volta il 3, il 54 e il 95, nei loro diversi livelli di definizione geometrica. È tuttavia bene sottolineare che, a differenza di quanto implementato nei modelli utilizzati per l'ottenimento dei risultati esposti nel capitolo 3, tutti gli elementi orizzontali e verticali posti a delimitazione delle unità immobiliari considerate rispetto a quelle confinanti sono stati considerati come *adiabatici* e quindi tali da non permettere alcuno scambio di calore con esse. Questa evidente riduzione del livello di complessità del modello da simulare ha permesso, da canto suo, di limitare l'influenza delle condizioni al contorno sul bilancio termico stagionale al solo ambiente esterno. Pertanto nessuna modifica è stata apportata rispetto a quanto già descritto nella definizione dei profili d'utenza, di per sé già espressione statistica di una tipica famiglia italiana. Per quanto concerne invece il file climatico contenente la definizione dei parametri ambientali salienti per il sito di progetto, è stato usato l'Anno Reale così come indicato nel

capitolo 2.8, in modo tale da rendere comunque possibili dei confronti diretti con quanto emerso dalla campagna di monitoraggio per il periodo estivo, senza dover ricorrere per ovvie motivazioni alla normalizzazione dei risultati ottenuti. Infine, per limitare ulteriormente l'incidenza della componente soggettiva sui risultati finali, nonché per rendere possibile un confronto diretto tra quanto emerso dalle interviste con gli esiti delle simulazioni, sono stati considerati, come termine di paragone, i soli utenti che hanno dichiarato di non abbassare mai le tapparelle durante tutto il periodo estivo.

4.3. Incidenza della temperatura di setpoint: risultati delle simulazioni

Per indagare l'incidenza assoluta della temperatura di setpoint sui consumi stagionali estivi è stato necessario ricorrere a modelli di simulazioni in regime dinamico, in quanto unico strumento conoscitivo concretamente utilizzabile per scindere la componente oggettiva da quella soggettiva, permettendo così di far luce su un argomento tuttora scarsamente dibattuto, ovvero il comportamento estivo del sistema edilizio. In tal caso, anzi, l'uso del motore di simulazione è risultato determinante: l'esiguità del campione d'analisi e l'estrema variabilità delle condizioni al contorno avrebbero di fatto reso impossibile qualsiasi considerazione in merito, o comunque avrebbero reso necessari tempi di elaborazione estremamente lunghi, pur mantenendo elevati margini di errore.

Assunto il fatto che gli appartamenti 3 e 54 hanno il medesimo orientamento prevalente (NO-SE), superficie netta riscaldata rispettivamente di 80,08 m² e 94,36 m², e superficie vetrata di 19,85 m² e 15,55 m² (per quanto concerne l'appartamento 95, l'orientamento prevalente è NE-SO, la superficie netta riscaldata è pari a 79,69 m², mentre quella vetrata ammonta a 13,67 m²), il primo problema da risolvere è stato quello di verificare le eventuali differenze di crescita/riduzione dei consumi stagionali in funzione della progressiva modificazione della temperatura di setpoint interno di 1°C. A tal fine son stati considerati tutti e tre i livelli di semplificazione geometrica adottati nel corso del presente lavoro (Low, Heating Mass, Detailed). La motivazione di tale scelta risiede essenzialmente nell'intuizione che non solo le caratteristiche geometriche e costruttive dell'involucro, ma anche l'articolazione spaziale, nonché il quantitativo di massa termica ivi presente, possono costituire, soprattutto durante il periodo estivo, elementi determinanti sul bilancio termico complessivo dell'involucro. Le tre tabelle che seguono mostrano i risultati ottenuti rispettivamente per gli appartamenti 3, 54 e 95. Si noti che, al di là dei consumi stagionali, di fatto caratteristici per la sola unità immobiliare considerata, il vero elemento di interesse è

costituito piuttosto dalle differenze percentuali riportate in funzione dei diversi setpoint di temperatura interna ipotizzati.

Tab. 18 – App. n. 3: valutazione dei consumi per il periodo estivo in funzione del setpoint adottato

LOW	24°C	25°C	26°C	27°C	28°C
kWh	2.501,57	2.031,96	1.573,32	1.171,05	794,01
Diff. % [rif. 28°C]	215,06 %	155,91 %	98,15 %	47,49 %	---
Diff. % [rif. 26°C]	59,00 %	29,15 %	---	-25,56 %	-49,53 %
HEATING MASS	24°C	25°C	26°C	27°C	28°C
kWh	2.504,91	2.038,62	1.574,28	1.150,94	781,87
Diff. % [rif. 28°C]	220,37 %	160,74 %	101,35 %	47,20 %	---
Diff. % [rif. 26°C]	59,11 %	29,50 %	---	-26,89 %	-50,33 %
DETAILED	24°C	25°C	26°C	27°C	28°C
kWh	2.395,55	1.961,55	1.533,68	1.132,36	771,26
Diff. % [rif. 28°C]	210,60 %	154,33 %	98,85 %	46,82 %	---
Diff. % [rif. 26°C]	56,20 %	27,90 %	---	-25,66 %	-49,71 %
MEDIA	24°C	25°C	26°C	27°C	28°C
kWh	2.467,34	2.010,71	1.560,43	1.151,45	782,38
Diff. % [rif. 28°C]	215,36 %	156,99 %	99,44 %	47,17 %	---
Diff. % [rif. 26°C]	58,12 %	28,85 %	---	-26,20 %	-49,86 %

Tab. 19 – App. n. 54: valutazione dei consumi per il periodo estivo in funzione del setpoint adottato

LOW	24°C	25°C	26°C	27°C	28°C
kWh	2.864,73	2.305,19	1.815,20	1.426,46	1.114,50
Diff. % [rif. 28°C]	157,04 %	106,84 %	62,87 %	27,99 %	---
Diff. % [rif. 26°C]	57,82 %	26,99 %	---	-21,41 %	-38,60 %
HEATING MASS	24°C	25°C	26°C	27°C	28°C
kWh	2.869,19	2.277,11	1.797,67	1.419,59	1.091,65
Diff. % [rif. 28°C]	162,83 %	108,59 %	64,67 %	30,04 %	---
Diff. % [rif. 26°C]	59,61 %	26,67 %	---	-21,03 %	-39,29 %
DETAILED	24°C	25°C	26°C	27°C	28°C
kWh	2.688,40	2.223,37	1.798,28	1.417,06	1.090,87
Diff. % [rif. 28°C]	146,45 %	103,82 %	64,85 %	29,90 %	---
Diff. % [rif. 26°C]	49,50 %	23,64 %	---	-21,19 %	-39,33 %
MEDIA	24°C	25°C	26°C	27°C	28°C
kWh	2.807,44	2.268,56	1.803,72	1.421,04	1.099,01
Diff. % [rif. 28°C]	155,45 %	106,41 %	64,12 %	29,30 %	---
Diff. % [rif. 26°C]	55,64 %	25,77 %	---	-21,21 %	-39,06 %

Tab. 20 – App. n. 95: valutazione dei consumi per il periodo estivo in funzione del setpoint adottato

LOW	24°C	25°C	26°C	27°C	28°C
kWh	1.577,99	1.250,87	969,82	754,31	584,08
Diff. % [rif. 28°C]	170,17 %	114,16 %	66,04 %	29,14 %	---
Diff. % [rif. 26°C]	62,71 %	28,98 %	---	-28,57 %	-66,04

HEATING MASS	24°C	25°C	26°C	27°C	28°C
kWh	1.598,75	1.256,64	973,01	755,91	619,43
Diff. % [rif. 28°C]	158,10 %	102,87 %	57,08 %	22,03 %	---
Diff. % [rif. 26°C]	64,31 %	29,15 %	---	-28,72 %	-57,08 %

DETAILED	24°C	25°C	26°C	27°C	28°C
kWh	1.689,73	1.326,00	1.082,19	853,12	692,20
Diff. % [rif. 28°C]	144,11 %	91,56 %	56,34 %	23,25 %	---
Diff. % [rif. 26°C]	56,14 %	22,53 %	---	-26,85 %	-56,34 %

MEDIA	24°C	25°C	26°C	27°C	28°C
kWh	1.622,15	1.277,83	1.008,34	787,78	631,90
Diff. % [rif. 28°C]	156,71 %	102,22 %	59,57 %	24,67 %	---
Diff. % [rif. 26°C]	60,87 %	26,73 %	---	-28,00 %	-59,57 %

Come si può notare dalle tabelle appena proposte, sussistono tra i tre appartamenti alcune differenze fondamentali in termini di risultati, sia rispetto alle differenze percentuali dei consumi in funzione della temperatura di setpoint, sia rispetto al livello di semplificazione geometrica considerato. Con maggior precisione, per quanto concerne il primo problema, occorre osservare le differenze percentuali dei consumi calcolate rispetto alla temperatura interna di setpoint standard, ovvero 26°C: infatti, mentre l'incremento dei consumi legato alla progressiva riduzione di 1°C rimane sostanzialmente invariata per quasi tutte le configurazioni adottate, il decremento degli stessi a mano a mano che viene aggiunto 1°C, invece, ci riserva qualche sorpresa, con differenze percentuali medie sulla colonna dei 28°C per gli appartamenti 3, 54 e 95 rispettivamente del -49,86%, -39,06% e -59,57%. Ciò permette di effettuare le seguenti ipotesi, che rimangono tuttavia ancora da verificare:

- la progressiva riduzione dei consumi per i tre appartamenti per l'aumento della temperatura di setpoint rispetto a quella di benchmark di 26°C sembra dipendere direttamente dal rapporto esistente tra superficie netta e superficie finestrata e quindi, per converso, dai carichi direttamente dipendenti dagli apporti solari rispetto all'unità di superficie;
- l'aumento dei consumi legato alla progressiva riduzione della temperatura di setpoint sembra risentire solo in minima parte del rapporto esistente tra superficie netta e superficie finestrata, mantenendo un andamento tutto sommato lineare e coefficiente angolare assolutamente assimilabile.

Con riferimento al primo punto, si fa notare come, a fronte di un rapporto superficie vetrata/superficie netta per l'appartamento 3 di 0,24 (contro lo 0,16 riscontrato per il 54), la riduzione dei consumi sia ben più marcata rispetto a quella della controparte. Ragionamento diverso va invece fatto per l'appartamento 95, in quanto, ad entrare in gioco non è solo un diverso orientamento prevalente, ma anche e soprattutto una maggiore incidenza degli elementi di ombreggiamento.

Per quanto concerne invece l'influenza del livello di semplificazione geometrica adottato, invece, si riscontra un minor aumento percentuale dei consumi per la configurazione Detailed dell'appartamento 54. Ciò potrebbe essere dovuto, ancora una volta, al diverso rapporto tra superficie vetrata e s.l.p., nonché alla differente articolazione degli spazi interni.

Tuttavia, quelle appena riportate sono solo ipotesi e non si è attualmente nelle condizioni di potervi fornire una valida e coerente risposta – soprattutto a causa dell'esiguità del campione d'analisi studiato. Pertanto, come già rimarcato, obiettivo del presente capitolo è ben altro, ovvero individuare, a prescindere dai particolarismi dello specifico appartamento, una curva di crescita dei consumi per quanto possibile assoluta e quindi applicabile, se pur con le dovute precauzioni, a tutte le unità abitative coinvolte nella campagna di monitoraggio. I grafici di cui sotto mostrano i risultati precedentemente esposti e individuano, per i tre appartamenti costituenti il campione d'analisi, una curva di tendenza che ne descrive l'andamento in funzione della temperatura di setpoint.

Grafico 14 – Appartamento n. 3: Consumi stagionali estivi in funzione della temperatura di setpoint interna

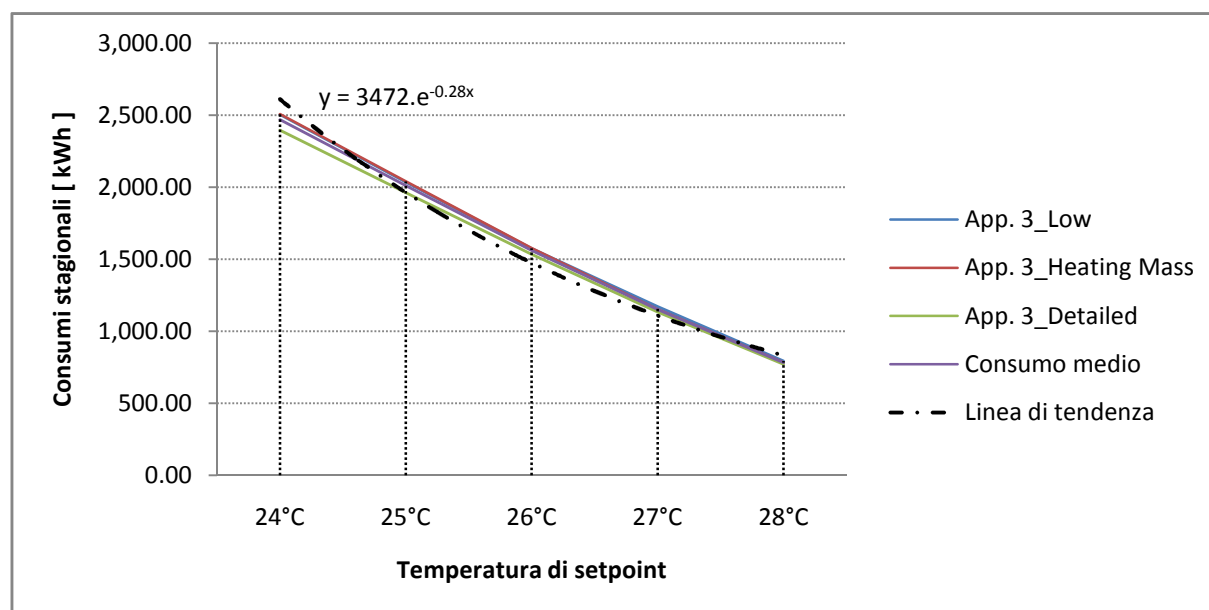


Grafico 15 – Appartamento n. 54: Consumi stagionali estivi in funzione della temperatura di setpoint interna

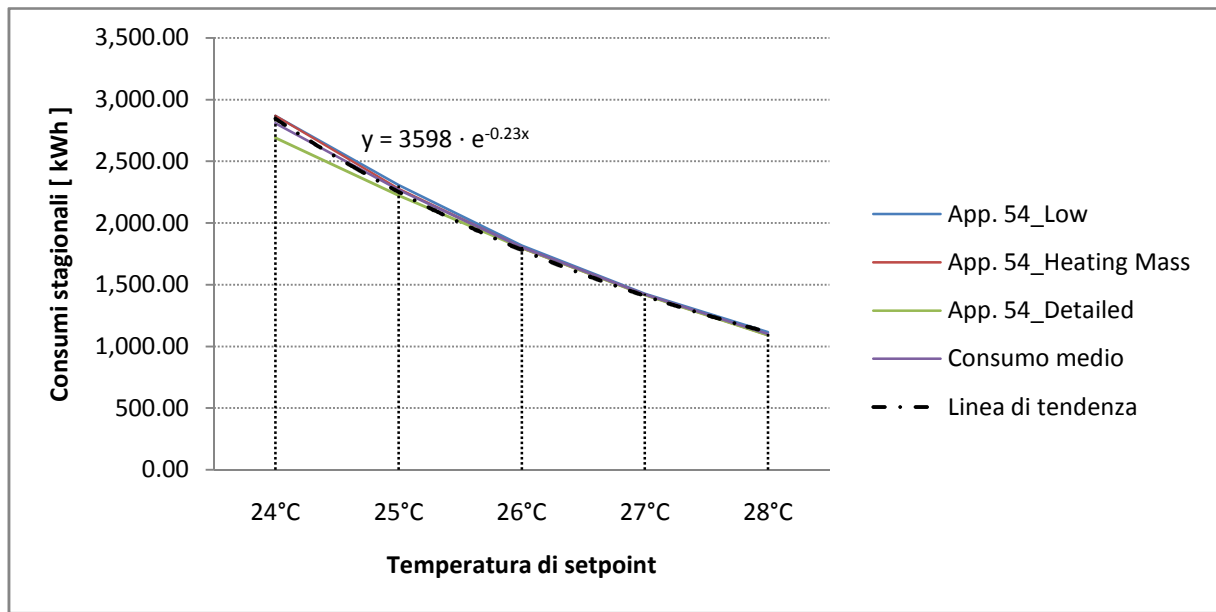
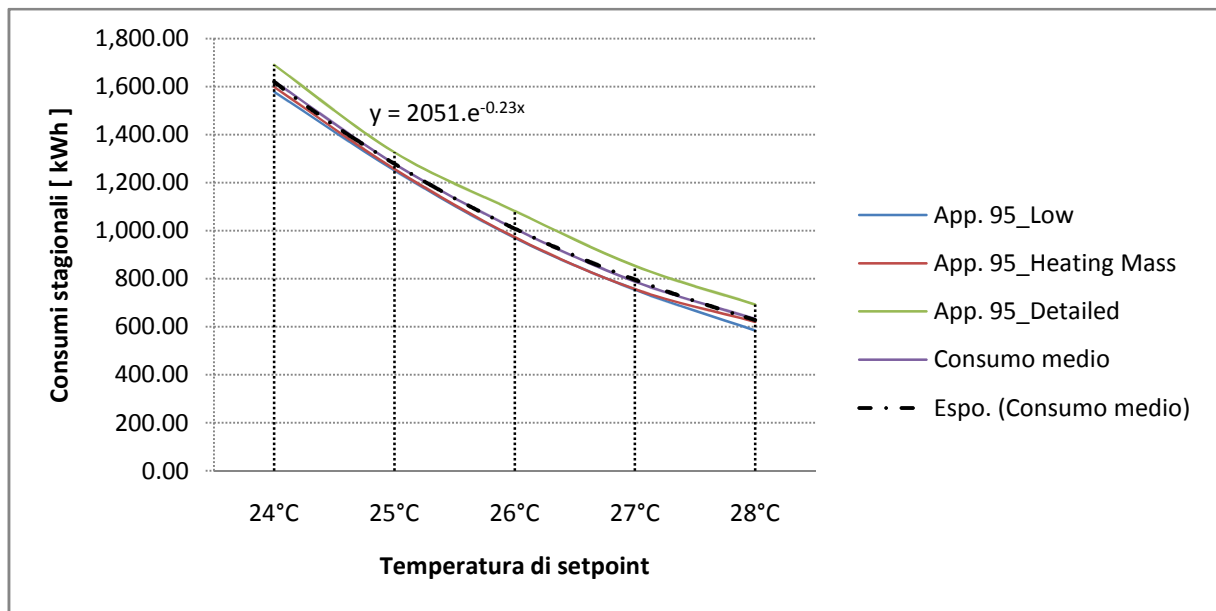


Grafico 16 – Appartamento n. 95: Consumi stagionali estivi in funzione della temperatura di setpoint interna



È bene sottolineare che le linee di tendenza così individuate non hanno carattere di generalità in quanto sono state realizzate avendo come unico riferimento i consumi peculiari degli appartamenti costituenti il campione d'analisi. Pertanto, avendo le unità 3 e 54 il medesimo orientamento prevalente, non è stato possibile effettuare alcuna considerazione in merito all'eventuale variazione nella differenza percentuale dei consumi in funzione di una diversa esposizione dell'involucro edilizio, né è possibile considerare il solo appartamento 95 come elemento di confronto sufficiente per trarre conclusioni coerenti in merito.

4.4. Individuazione della curva di crescita teorica dei consumi estivi

Date l'esiguità del campione d'analisi, la non diretta confrontabilità degli incrementi percentuali ottenuti in funzione della temperatura di setpoint per i tre appartamenti considerati, nonché l'impossibilità di determinare l'influenza dell'orientamento sui carichi stagionali, si è ritenuto opportuno elaborare la curva di crescita dei consumi stagionali così come precedentemente descritta (da usare quale strumento di confronto per tutte le altre unità immobiliari presenti nel blocco 2), attraverso i seguenti espedienti:

- al fine di valutare l'influenza degli orientamenti sugli incrementi percentuali dei consumi stagionali, i tre appartamenti costituenti il campione d'analisi sono stati simulati ipotizzando rotazioni progressive della pianta di 90° in senso orario;
- per garantire un sufficiente grado di generalità alla curva di crescita individuata, si è fatto riferimento al solo livello di semplificazione geometrica Heating Mass, in quanto considera l'effetto di massa termica dei partizionamenti interni, senza tuttavia risultare determinante, ai fini del calcolo, la relativa articolazione spaziale.

Le tre tabelle che seguono mostrano, per gli appartamenti 3, 54 e 95, i risultati ottenuti dalle simulazioni in regime dinamico in funzione dell'angolo di rotazione con la quale è stata considerata la pianta.

Tab. 21 – App. n. 3: valutazione dei consumi stagionali in funzione di setpoint e orientamento prevalente

<i>Orientamento NO-SE</i>	24°C	25°C	26°C	27°C	28°C
kWh	2.504,91	2.038,62	1.574,28	1.150,94	781,87
Diff. % [rif. 28°C]	220,37 %	160,74 %	101,35 %	47,20 %	---
Diff. % [rif. 26°C]	59,11 %	29,50 %	---	-26,89 %	-50,33 %
<i>Rotazione: + 90°</i>	24°C	25°C	26°C	27°C	28°C
kWh	2.288,24	1.820,90	1.373,41	966,10	631,03
Diff. % [rif. 28°C]	262,62 %	188,56 %	117,65 %	53,10 %	---
Diff. % [rif. 26°C]	66,61 %	32,58 %	---	-29,66 %	-54,05 %
<i>Rotazione: + 180°</i>	24°C	25°C	26°C	27°C	28°C
kWh	2.602,04	2.136,12	1.673,32	1.253,89	875,10
Diff. % [rif. 28°C]	197,34 %	144,10 %	91,21 %	43,29 %	---
Diff. % [rif. 26°C]	55,50 %	27,66 %	---	-25,07 %	-47,70 %
<i>Rotazione: + 270°</i>	24°C	25°C	26°C	27°C	28°C
kWh	2.348,26	1.874,22	1.418,30	1.004,38	645,06
Diff. % [rif. 28°C]	264,04 %	190,55 %	119,87 %	55,70 %	---
Diff. % [rif. 26°C]	65,57 %	32,15 %	---	-29,18 %	-54,52 %

Tab. 22 – App. n. 54: valutazione dei consumi stagionali in funzione di setpoint e orientamento prevalente

<i>Orientamento NO-SE</i>	24°C	25°C	26°C	27°C	28°C
kWh	2.869,19	2.277,11	1.797,67	1.419,59	1.091,65
Diff. % [rif. 28°C]	162,83 %	108,59 %	64,67 %	30,04 %	---
Diff. % [rif. 26°C]	59,61 %	26,67 %	---	-21,03 %	-39,27 %
<i>Rotazione: + 90°</i>	24°C	25°C	26°C	27°C	28°C
kWh	2.569,83	1.991,19	1.517,74	1.155,84	846,65
Diff. % [rif. 28°C]	203,53 %	135,18 %	79,26 %	36,52 %	---
Diff. % [rif. 26°C]	69,32 %	31,19%	---	-23,84 %	-44,22 %
<i>Rotazione: + 180°</i>	24°C	25°C	26°C	27°C	28°C
kWh	2.733,58	2.195,99	1.743,63	1.392,67	1.066,21
Diff. % [rif. 28°C]	156,38 %	105,96 %	63,54 %	30,62 %	---
Diff. % [rif. 26°C]	56,78 %	25,94 %	---	-20,13 %	-38,85 %
<i>Rotazione: + 270°</i>	24°C	25°C	26°C	27°C	28°C
kWh	2.693,79	2.098,97	1.619,89	1.216,90	902,02
Diff. % [rif. 28°C]	198,64 %	132,70 %	79,58 %	34,91 %	---
Diff. % [rif. 26°C]	66,29 %	29,57 %	---	-24,88 %	-44,32 %

Tab. 23 – App. n. 95: valutazione dei consumi stagionali in funzione di setpoint e orientamento prevalente

<i>Orientamento NE-SO</i>	24°C	25°C	26°C	27°C	28°C
kWh	1.598,75	1.256,64	973,01	755,91	619,43
Diff. % [rif. 28°C]	158,10 %	102,87 %	57,08 %	22,03 %	---
Diff. % [rif. 26°C]	64,31 %	29,15 %	---	-28,72 %	-57,08 %
<i>Rotazione: + 90°</i>	24°C	25°C	26°C	27°C	28°C
kWh	1.844,52	1.471,12	1.152,47	895,33	767,49
Diff. % [rif. 28°C]	140,33	91,68	50,16	16,66	---
Diff. % [rif. 26°C]	60,05 %	27,65 %	---	-26,74 %	-50,16 %
<i>Rotazione: + 180°</i>	24°C	25°C	26°C	27°C	28°C
kWh	1.532,46	1.218,14	945,91	739,39	596,37
Diff. % [rif. 28°C]	156,96	104,26	58,61	23,98	---
Diff. % [rif. 26°C]	62,01 %	28,78 %	---	-27,93 %	-58,61 %
<i>Rotazione: + 270°</i>	24°C	25°C	26°C	27°C	28°C
kWh	1.780,78	1.415,29	1.115,99	889,87	749,84
Diff. % [rif. 28°C]	137,49	88,75	48,83	18,67	---
Diff. % [rif. 26°C]	59,57 %	26,82 %	---	-25,41 %	-48,83 %

La prima considerazione che è possibile effettuare osservando i risultati appena presentati è che l'orientamento incide non tanto e non solo sui consumi stagionali ascrivibili all'utenza (ciò, di fatto, è cosa nota e generalmente valida anche per il periodo di riscaldamento invernale), quanto piuttosto determina in maniera evidente la riduzione o, invero, l'aumento

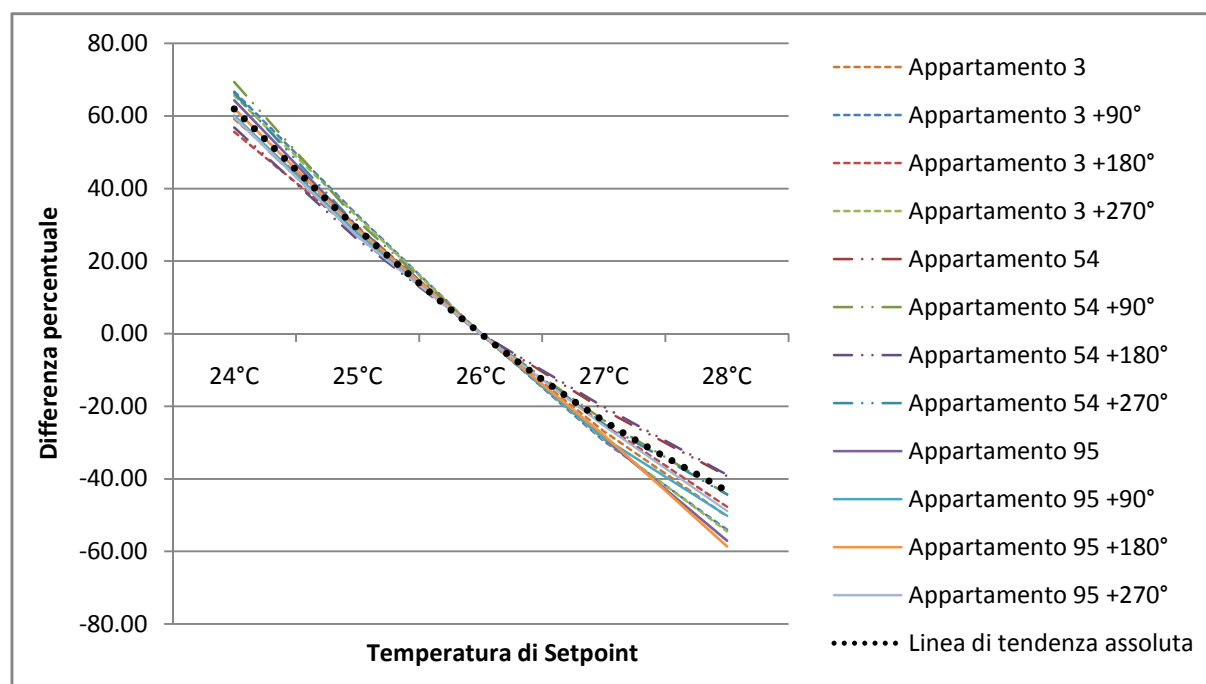
percentuale degli stessi in funzione della temperatura di setpoint considerata. In tutti gli appartamenti, inoltre, si nota una certa specularità tra i dati di consumo rilevati per una medesima temperatura per angoli di rotazione di 180°C. Quest'ultimo aspetto, molto interessante, ha suggerito le modalità di costruzione della curva di crescita dei consumi, ritenendo infatti una buona approssimazione del relativo andamento quella curva costruita a partire dalla media calcolata sui valori medi di entrambi gli appartamenti per la medesima temperatura di setpoint. La tabella che segue, dunque, mostra i valori sulla base dei quali è stata realizzata la curva di crescita dei consumi per la stagione estiva, da adottarsi quale strumento di paragone con cui confrontare i dati del monitoraggio, incrociati con gli esiti delle interviste condotte.

Tab. 24 – Consumi medi usati per l'individuazione della curva di crescita degli stessi in funzione del setpoint interno

	24°C	25°C	26°C	27°C	28°C
Media appartamento 3	2.435,86	1.967,47	1.509,83	1.093,83	733,27
Media appartamento 54	2.716,60	2.140,82	1.669,73	1.296,25	976,63
Media appartamento 95	1.689,12	1.340,29	1.046,84	820,12	683,28
Media complessiva	2.280,52	1.816,19	1.408,80	1.070,06	797,72
Diff. % [rif. 26°C]	61,87 %	28,91 %	---	-24,04 %	-47,95 %

Sulla base delle differenze percentuali dei consumi stagionali calcolate rispetto alla temperatura di setpoint di 26 °C è stata dunque costruita la relativa linea di tendenza.

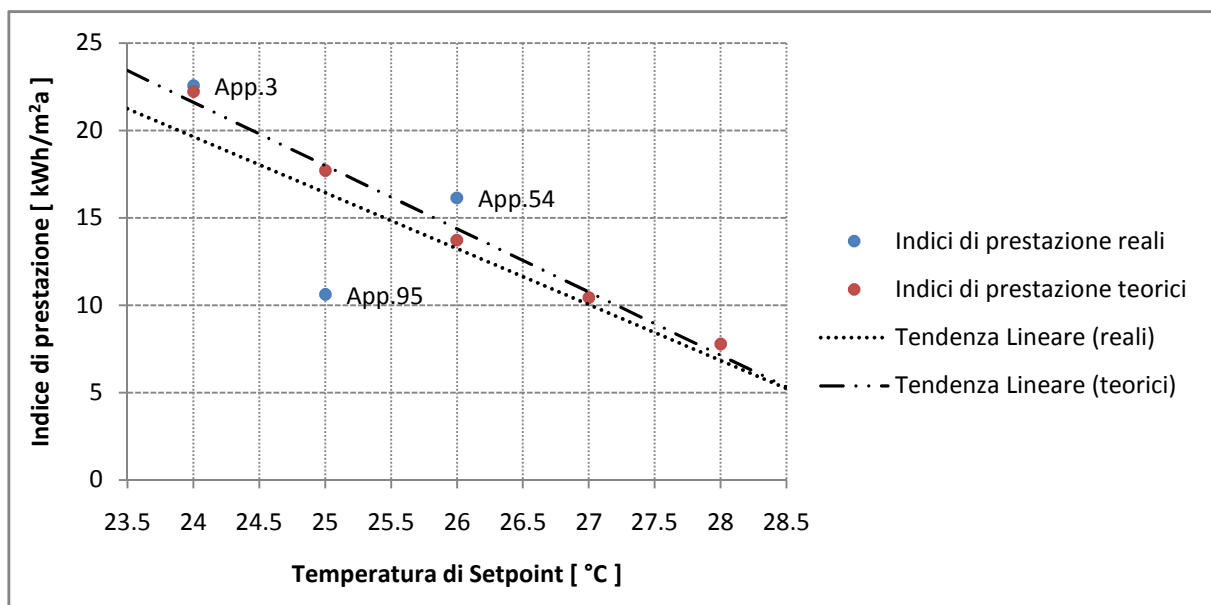
Grafico 17 – Linea di tendenza generale relativa alla variazione percentuale dei consumi in funzione del setpoint di 26°C



4.5. Curve di crescita teorica e reale a confronto

Nel precedente intervento è stata individuata, per gli appartamenti costituenti il campione d'analisi è rappresentativi delle caratteristiche medie delle unità immobiliari presenti all'interno del blocco 2 dell'intervento edilizio di Parco delle Cave, una curva di crescita capace di descrivere, in termini assoluti, la variazione percentuale dei consumi in funzione della temperatura di setpoint interna. Va da sé che ogni singolo appartamento, se puntualmente considerato, può mostrare variazioni percentuali nei consumi, siano esse negative o positive, rispetto a quello di benchmark ottenuto con temperatura interna dell'aria a 26°C, differenti da quanto indicato dalla linea di tendenza di cui sopra: in quanto tale, essa vuol mostrare un andamento medio appunto, ed ogni diversità sarà di fatto legata alle caratteristiche proprie dell'unità residenziale eventualmente studiata, quali, orientamento, rapporto tra superficie finestrata e s.l.p., profili d'utenza ecc.. Tuttavia, è bene precisare sin da ora che detta curva non può ancora essere assunta a strumento di studio con cui determinare le condizioni d'utilizzo di tutti gli appartamenti interessati dalla campagna di monitoraggio estivo. Per perseguire tale scopo è stato dunque necessario incrociare la linea di tendenza teorica così come precedentemente presentata con quella empiricamente derivata attraverso l'interpolazione tra gli indici di prestazione calcolati a partire dai consumi reali e le temperature interne dell'aria rilevate attraverso i data logger per i medesimi appartamenti assunte a temperature di setpoint per il sistema di condizionamento (per maggiori informazioni in merito si rimanda alla lettura del capitolo 4.1). Il grafico di cui sotto mostra quindi la sovrapposizione effettuata tra curva teorica e reale.

Grafico 18 – Crescita dei consumi in funzione della temperatura di setpoint: curva reale e teorica a confronto



Com'è possibile notare dal grafico appena presentato, curva teorica e curva reale possono essere dichiarate, a prescindere dalle differenze percentuali puntualmente riscontrabili, e dovute in larga misura all'esiguità del campione d'analisi considerato, sostanzialmente coincidenti. Le implicazioni di questa conclusione sono notevoli e, per quanto lavoro possa (e debba) ancora essere svolto in questa direzione – nella direzione cioè della piena comprensione del comportamento estivo del sistema edificio ad alta efficienza – possono dirsi all'avanguardia, se considerate rispetto allo stato attuale dell'arte.

Innanzitutto viene confermato, così come era avvenuto per il periodo invernale, l'effettivo valore aggiunto delle unità residenziali ad alte prestazioni, in quanto è stato possibile ricollegare il maggior consumo stagionale riscontrato dall'attività di monitoraggio alle modalità di fruizione caratteristiche della specifica utenza, e in particolar modo alla temperatura di setpoint da questa impostata. Altro aspetto degno di nota è costituito dalla rappresentatività della curva teorica individuata per tutti gli appartamenti presenti all'interno dell'intervento edilizio oggetto di studio, permettendo di risalire, seppur con le dovute precauzioni e gli inevitabili margini d'errore, alla potenziale temperatura di setpoint impostata dall'utenza in ogni singola unità. Infine viene rafforzato il sospetto già esposto in precedenza secondo cui la procedura di calcolo attualmente usata per la determinazione dell' ET_C al fine del rilascio dell'Attestato di Certificazione Energetica conterrebbe un errore potenzialmente individuabile (ma tale ipotesi è ancora tutta da verificare) nella non corretta computazione delle caratteristiche di inerzia termica dell'involucro edilizio.

COMMENTI E DISCUSSIONI SULLA METODOLOGIA USATA

5.1. Descrizione sintetica del motore di calcolo EnergyPlus v. 7.0

EnergyPlus è un software a struttura modulare nato nel 2001 dalla fusione di BLAST (Building Loads Analysis Thermodynamics) e DOE-2.1E – due noti programmi per il calcolo in regime dinamico sviluppati verso la fine degli anni '70 dallo *U.S. Department of Energy*. Obiettivo primario di questo nuovo progetto è stato quello di creare un *motore di simulazione*²² per l'analisi energetica degli edifici che fosse stabile e potente, e che supplisse alle inefficienze dello *spaghetti code*²³ caratterizzante i suoi famosi predecessori.

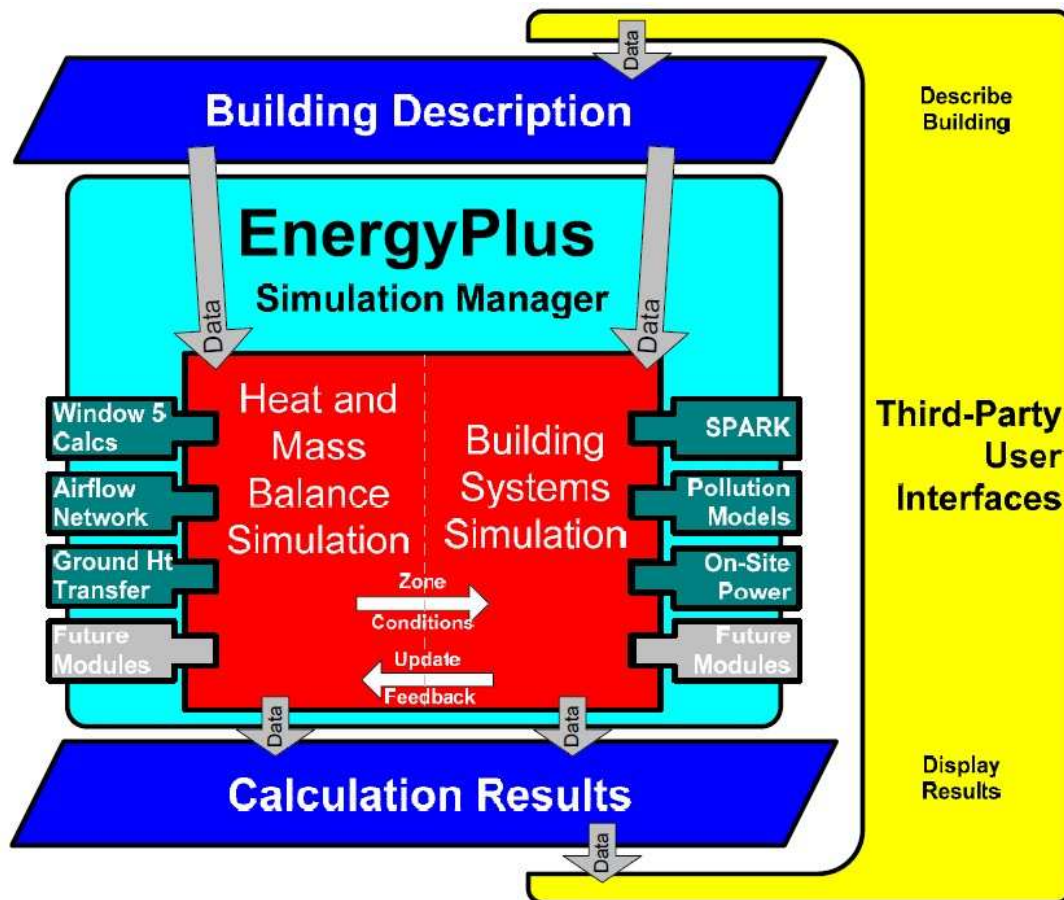
A partire dalla descrizione testuale delle caratteristiche geometriche, fisiche e impiantistiche dell'edificio oggetto di studio, EnergyPlus offre dunque una soluzione integrata per la simulazione simultanea di carichi termici e sistemi impiantistici, al fine di garantire, per quanto possibile, una predizione accurata delle condizioni di temperatura e di comfort interni. Questa operazione viene generalmente gestita attraverso una ripartizione sub-oraria definita dall'utente (*time steps*) delle interazioni che vi devono essere tra le zone termiche ivi presenti e, rispettivamente, ambiente al contorno e sistemi HVAC (ndr. Heating, Ventilation & Air Conditioning). Con maggior precisione, i valori di carico per il bilancio termico stagionale calcolati dal motore di simulazione a un dato time step vengono passati al modulo dedicato alla verifica dei sistemi impiantistici secondo la medesima logica di ripartizione temporale. In questo modo, è possibile valutare, istante per istante, la risposta degli impianti termici al variare dei parametri ambientali interni ed esterni.

Tecnicamente, EnergyPlus è composto da due blocchi – tra loro complementari e comunicanti, ma mai intrecciati o sovrapposti: il modulo per la determinazione dei carichi termici dell'edificio e quello per la simulazione di tutti i sistemi impiantistici (suddivisi in *oggetti e loops*) ad esso direttamente o indirettamente ascrivibili.

²² Con tale definizione si intende indicare un software in cui i dati di input e di output sono semplici file di testo ASCII, immessi ed estratti senza l'intermediazione di un'interfaccia grafica.

²³ Sia BLAST che DOE-2.1E sono stati scritti nella prima versione del linguaggio FORTRAN, che richiede, per una corretta interpretazione dei dati di input, riferimenti continui e reciproci tra elementi direttamente o indirettamente dialoganti. Risultato di questa impostazione è una ridondanza di contenuti e, al contempo, un'estrema difficoltà nel prevedere le connessioni necessarie, in quanto queste si generano, senza logica apparente, a mo' di "piatto di spaghetti".

Fig. 09 – Schema di funzionamento di EnergyPlus



Il calcolo dei flussi di calore e il bilancio termico delle masse in gioco sono basati sui modelli fisici contenuti in IBLAST – una versione sperimentale di BLAST che contiene alcuni tra i più affidabili algoritmi per la simulazione simultanea di carichi energetici e impianti HVAC. Il modulo per il bilancio termico gestisce i flussi di calore attraverso le superfici dell’involucro; a essere simulati sono, primariamente:

- le relazioni esistenti tra flussi di calore generati e condizioni al contorno;
- le peculiarità delle diverse modalità di trasmissione del calore;
- gli effetti legati al “trasferimento di massa” per la presenza di vapor d’acqua.

A sua volta, il modulo che definisce il bilancio termico dell’aria agisce come interfaccia tra il bilancio termico dell’involucro e il gestore dei sistemi impiantistici. In questo caso, ad esser presi in considerazione quali fattori perturbanti sono principalmente gli effetti della ventilazione e delle infiltrazioni d’aria.

Da DOE-2.1E, EnergyPlus eredita, invece, i moduli che gestiscono, rispettivamente, l’illuminamento naturale e artificiale, e che includono la risposta delle superfici trasparenti in funzione delle proprietà della luce solare e del cielo anisotropico.

Occorre ora fare una precisazione: contrariamente a quanto si potrebbe pensare, EnergyPlus non è uno strumento per la progettazione di sistemi impiantistici! Con questo si intende dire che, al di fuori di piccoli controlli di routine, il software non entra nel merito dei contenuti dei dati di input (se non per verificarne la reciproca congruenza), né tanto meno cerca di fornire un'interpretazione a quanto calcolato dal processo di simulazione. A dominare è qui la logica del “garbage in, garbage out”, secondo la quale non è possibile ottenere dati coerenti, se a non esser coerenti sono primariamente le informazioni di input inserite nella descrizione del modello.

Per concludere, si ricorda infine la natura *Open Source* di EnergyPlus. A differenza dei principali competitors attualmente disponibili sul mercato (Ecotect Analysis, TRNSYS, Design Builder ecc.), il codice sorgente che ne definisce la struttura è infatti di pubblico dominio e quindi potenzialmente aperto a tutti per ispezioni ed eventuali revisioni in ogni sua parte. Da tutti può inoltre essere liberamente scaricato, installato, usato e distribuito – ferma restando la proprietà intellettuale di fondo, che rimane alla *Commissione per l'Efficienza Energetica e le Energie Rinnovabili* degli Stati Uniti.

Per ogni ulteriore informazione, si rimanda all'ampia documentazione fornita dagli sviluppatori attraverso il sito internet: <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>.

5.2. Individuare il miglior grado di semplificazione

Durante lo svolgimento del presente lavoro, si è avuto modo di accennare a più riprese alla necessità di individuare quale sia il miglior grado di semplificazione attraverso il quale declinare il sistema edilizio reale in un modello geometrico coerente e finalizzato all'ottenimento di dati soddisfacenti e congruenti agli obiettivi che ne hanno mosso l'analisi. Tale necessità dipende direttamente dalla complessità sottesa al processo di implementazione dei dati di input all'interno del motore di simulazione, e che richiede di per sé la conoscenza dettagliata di informazioni che spesso non sono di semplice reperibilità. Con riferimento a EnergyPlus, si pensi, ad'esempio, alla semplice definizione delle caratteristiche fisiche di una comune lastra di vetro per serramenti. I parametri in questo caso richiesti sono, nell'ordine:

- Thickness;
- Solar Transmittance at Normal Incidence;
- Front / Back Side Solar Reflectance at Normal Incidence;
- Visible Transmittance at Normal Incidence;
- Front / Back Side Visible Reflectance at Normal Incidence;

- Infrared Transmittance at Normal Incidence;
- Front / Back Side Infrared Hemispherical Emissivity;
- Conductivity;
- Dirt Correction Factor for Solar and Visible Transmittance.

L'esempio appena mostrato, in quanto passaggio obbligato e non bypassabile nel processo di descrizione delle caratteristiche costruttive dell'involucro edilizio, permette di intuire quale possano essere le difficoltà sottese all'implementazione del modello – fisico e geometrico prima di tutto.

In tale scenario, il tempo necessario all'individuazione di tutte le informazioni richieste ed, invero, le risorse impiegate per il loro corretto inserimento (in un processo di completa definizione delle peculiarità distributive, fisiche e impiantistiche) spesso non sono giustificati rispetto ai reali obiettivi della simulazione: le potenziali interrogazioni sottoponibili al software di calcolo sono innumerevoli ed ognuna di esse è finalizzata a dar risposta a problemi specifici che afferiscono al sistema edificio.

È bene sottolineare sin da ora che si tratta di risultati esclusivamente quantitativi e che la qualità degli stessi è conseguenza diretta tanto della coerenza e bonarietà dei dati forniti, quanto dell'interpretazione che l'operatore è in grado di dare agli stessi. Del resto, come accennato nel sottocapitolo precedente, EnergyPlus non è un programma di progettazione e da canto suo non è capace di fornire alcuna informazione in merito ai contenuti dei dati di input (se non per la sola verifica di reciproca congruenza tra i moduli che ne definiscono il modello), né, tantomeno, è capace di interpretare gli output restituiti.

Dunque, il processo di semplificazione invocato all'inizio di questo intervento va nella direzione di contenere l'insorgere di possibili errori derivanti da una incoerente implementazione sostanziale delle informazioni necessarie al processo di simulazione, nonché di minimizzare i costi operativi determinati dalle risorse effettivamente impiegate, in funzione degli obiettivi da conseguire. Rimane tuttavia da rispondere alla seguente domanda: quali sono i principi secondo i quali declinare il miglior grado di dettaglio dei modelli?

Di fatto non esiste una strategia univoca per siffatta operazione, quanto piuttosto occorre desumerla, come già più volte ribadito, dalle condizioni di progetto. In linea del tutto generale è però possibile fornire le seguenti indicazioni, riferibili rispettivamente al lato *Involucro* e al lato *Impianti*, di un tipico edificio residenziale caratterizzante il parco edilizio nazionale.

Per quanto concerne il primo, si ritiene che, nella maggior parte dei casi, può risultare conveniente non mettere in atto una suddivisione degli spazi interni riscaldati, e realizzare piuttosto un'unica zona termica per unità abitativa. Tuttavia diviene necessario supplire

all'effetto di massa termica dei partizionamenti orizzontali e verticali attraverso la compilazione della voce *Internal Mass*. Si fa presente che, nel computare le superfici soggette a detto fenomeno, l'operatore deve far attenzione a considerare l'area di ambo le facce costituenti l'elemento declinato a massa interna.

Lato impianti, invece, salvo l'esplicita necessità di considerare l'interazione tra edificio e impianto di progetto, può convenire declinare l'intero sistema di riscaldamento e condizionamento rispettivamente a caldaia, chiller e condensatore – molto più semplici e veloci da definire rispetto ad altre soluzioni impiantistiche non contemplate dai *templates*. Adottando tale soluzione, occorre tuttavia normalizzare i risultati ottenuti rispetto al coefficiente di prestazione caratterizzante il generatore reale. Nessuna semplificazione può essere invece implementata lato terminali, i quali devono essere minuziosamente descritti in ogni loro punto.

Occorre infine capire come risolvere il problema della ventilazione, nel momento stesso in cui questa venga garantita da impianto meccanico di estrazione/immissione. Qui il fattore discriminante è l'eventuale presenza del recuperatore di calore. Nel caso in cui non fosse disponibile, allora è possibile declinare l'intero sistema di ventilazione sulla base di semplici volumi d'aria estratti su base temporale, attraverso la compilazione della scheda *ZoneVentilation:DesignFlowRate*. Attenzione. Detto espediente non può essere assolutamente usato laddove ci si trovi in presenza di impianto di condizionamento a tutt'aria, per il quale bisogna procedere ad una dettagliata descrizione del suo sviluppo spaziale e tecnologico. Diverse sono le motivazioni che ci portano a questa conclusione. Prima fra tutte l'importanza dei fenomeni convettivi nel processo di validazione/valutazione del sistema previsto, in funzione delle condizioni di comfort interno, dell'equa ed uniforme distribuzione della temperatura all'interno degli spazi riscaldati ecc.

5.3. Come interpretare i risultati ottenuti

Come si è già avuto modo di anticipare nel corso della presente trattazione, il motore di simulazione EnergyPlus, quale che sia la versione software che si intende adottare, restituisce risultati strettamente quantitativi e mai qualitativi, simulando di fatto la correlazione tra i dati inseriti come input. Pertanto la qualità delle conclusioni alle quali si perviene dipende strettamente, in una sorta di relazione biunivoca, da:

- le peculiarità del modello geometrico, in aderenza al caso reale oggetto di studio, e dalle “semplificazioni” ivi contenute;

- la coerenza e reciproca congruenza delle informazioni fornite al programma a compilazione dei moduli di interesse;
- la finalizzazione delle richieste di output in funzione delle problematiche cui si intende dar risposta.

Per quanto concerne le modalità di interpretazione dei dati ottenuti, e in virtù di quanto appena detto, non esiste, di fatto, la possibilità di una valutazione asettica degli stessi, utilizzando cioè i risultati come meri valori quantitativi, quanto piuttosto occorre aver sempre costantemente presente quelle che sono le condizioni in cui si è svolta la simulazione. Si pensi, a titolo d'esempio, all'influenza che oggettivamente possiedono i dati meteorologici sugli esiti del processo di analisi e per i quali sarà strettamente necessario effettuare di volta in volta considerazioni ad hoc per una loro coerente contestualizzazione. Ad ogni modo, per meglio circoscrivere il problema, è possibile distinguere tre casi cardine in cui la valutazione in regime dinamico del livello di efficienza energetica di un dato edificio può essere vantaggiosamente usata quale strumento di conoscenza, e in funzione dei quali dipenderanno le possibili modalità di interpretazione degli output. Essi sono, in ordine crescente di difficoltà e articolazione delle prove necessarie:

- valutazione predittiva;
- audit energetico;
- retrofit energetico.

Con riferimento al primo caso citato, quello cioè della *valutazione predittiva*, la simulazione in regime dinamico rappresenta di per sé un momento necessario (seppur non sufficiente) per la previsione di quelle che saranno le modalità di funzionamento ascrivibili alle diverse configurazioni geometriche e costruttive adottabili per il progetto in corso – tanto rispetto alle peculiarità ambientali al contorno, quanto in funzione degli usi che ragionevolmente ne può fare il fruitore finale. Siffatto scopo fa sì che generalmente vengano adottati, per la località di riferimento, i parametri meteorologici contenuti nell'Anno Tipo, al fine di determinare la risposta media dell'edificio in un contesto dall'andamento stagionale statisticamente verosimile. Pertanto l'interpretazione dei dati che emergono dal processo di simulazione è da attuarsi a mezzo di confronto tra i parametri logicamente omogenei ascrivibili alle diverse configurazioni di progetto ipotizzate. Obiettivo ultimo è quello di determinare quale sia la migliore soluzione “energeticamente sostenibile” in risposta a ben precise esigenze predeterminate o, altresì, capire quali possano essere le modifiche apportabili all'una o all'altra per supplire ad eventuali inefficienze.

Nell'eventualità in cui esista un edificio assimilabile per forma, caratteristiche costruttive e modalità di inserimento nel territorio a quello di progetto, e per il quale esistano, al contempo, dati certi circa le relative prestazioni energetiche, è logicamente possibile mettere in atto un confronto con quanto restituito in output dal motore di simulazione. In tal caso, occorre tuttavia aver cura di allineare i risultati ai parametri ambientali caratterizzanti il periodo coperto dai dati reali a disposizione dell'operatore. Le metodologie utilizzabili a questo scopo sono essenzialmente due:

- la normalizzazione, da usarsi nel caso in cui la simulazione sia stata effettuata con l'ausilio dell'Anno Tipo;
- simulare l'edificio di progetto con un file climatico realizzato ad hoc a partire dalle grandezze orarie effettivamente rilevate durante il periodo di interesse e reperibili, in Italia, presso i siti regionali dell'ARPA.

Nel caso di *audit energetico*, invece, in quanto valutazione sistematica, documentata e periodica del livello di efficienza energetica di un dato sistema edilizio e finalizzata a studiarne le prestazioni reali in funzione delle modalità d'uso che caratterizzano l'utenza finale (si pensi alle campagne di monitoraggio invernale ed estivo introdotte rispettivamente nei capitoli 2.2 e 2.3 del presente lavoro), ruolo estremamente particolare viene generalmente riservato alle simulazioni in regime dinamico: quello cioè di fornire risposte a problematiche non pienamente comprensibili se studiate unicamente sulla base dei soli parametri ambientali rilevati. Va da sé che, in una simile prospettiva, il modello da simulare deve contenere informazioni strettamente aderenti a quelle che sono le caratteristiche note dell'edificio oggetto di studio. Pertanto risulta necessario, ai fini di una corretta interpretazione degli output, riallineare i risultati ottenuti con i parametri ambientali caratterizzanti il periodo interessato dalla campagna di audit energetico, così come precedentemente descritto.

Più complesso è il caso *retrofit energetico*, in quanto racchiude in seno le peculiarità dei due prima discussi. Sottendendo a tale pratica un processo costante e duraturo atto a raccogliere informazioni dettagliate, sistemiche se vogliamo, circa le prestazioni energetiche nel tempo di un edificio che si ha intenzione di riqualificare, al fine di individuarne, con maggior cognizione di causa, gli interventi energeticamente più convenienti, il ruolo delle simulazioni in regime dinamico viene così ripartito su due fronti:

- durante il momento conoscitivo del sistema edilizio da recuperare, questo strumento può essere finalizzato a fornire maggiori e più puntuali elementi di valutazione per problematiche complesse o comunque difficilmente risolvibili sulla sola base dei dati strumentali a disposizione dell'operatore;

- durante il momento progettuale, può essere vantaggiosamente usato al fine di individuare la migliore soluzione tra quelle adottate, in risposta a esigenze specifiche, così come definite durante la fase precedente.

Per quanto concerne, invece, le modalità di interpretazione dei dati ottenuti, si può fare riferimento a quanto descritto per i due casi precedentemente mostrati.

In ultima istanza, si tiene a ricordare che, per non commettere errori grossolani di valutazione occorre sempre aver bene a mente le motivazioni che hanno resa necessaria la simulazione, e per converso, gli obiettivi cui si vuol tendere attraverso la sua compilazione.

5.4. L'importanza delle campagne di monitoraggio

Le campagne di monitoraggio invernale ed estivo hanno svolto un ruolo fondamentale per lo sviluppo del presente lavoro, fornendo, come già mostrato, dati reali ai quali rapportare i risultati delle simulazioni in regime dinamico nelle diverse configurazioni realizzate. Senza tuttavia voler ribadire quanto scritto nei precedenti capitoli, si ritiene opportuno usare questo spazio per sottolineare la necessità oggettiva, legata all'introduzione nel panorama delle modalità di valutazione dell'efficienza energetica in edilizia di nuovi e complessi strumenti di indagine (ndr. I motori di simulazione in regime dinamico), di avviare una lunga serie di sperimentazioni su casi reali con modalità assimilabili a quelle qui presentate. Obiettivo: validare gli algoritmi alla base delle procedure di calcolo proposte per i casi tipici del parco immobiliare nazionale ed effettuare così una selezione intorno a quei modelli che restituiscono, a parità di condizioni iniziali, la miglior risposta qualitativa in termini di aderenza di risultati. Tale necessità nasce dalla consapevolezza che esistono profonde differenze tra la cultura statunitense del costruire – quella cioè in cui nascono praticamente tutti i motori di simulazione oggi disponibili e per la quale vengono “tarati” – e quella, non solo italiana, ma più generalmente europea.

Date le risorse richieste per la compilazione di un modello a tutti gli effetti processabile con esiti soddisfacenti, occorre dunque poter aver coscienza delle modalità di risposta del dato programma in funzione delle caratteristiche di progetto. Il rischio che altrimenti si corre è quello di vanificare il senso stesso legato alla fase di interpretazione dei risultati che, di fatto, perde fondamento.

Da qui la necessità di possedere piena consapevolezza delle procedure di calcolo sottese al programma di simulazione, al fine di poterne dominare pienamente il processo in ogni suo momento. In tal senso, le campagne di monitoraggio cui si è fatto riferimento all'inizio del

presente intervento, eventualmente coadiuvate da prove di carattere empirico, dovrebbero dunque fornire, se opportunamente condotte, tutta una serie di dati atti a definire, a fronte di un minimo margine di incertezza, la bonarietà degli algoritmi proposti per i diversi ambiti di indagine. Con riferimento a EnergyPlus, pertanto, vista la sua natura open source, si potrebbe invero pensare di apportare eventuali correttivi alle procedure di calcolo, in modo tale da rimodellare lo strumento intorno al *modus operandi* tipico della cultura costruttiva italiana ed europea.

5.5. Perché comprendere il comportamento estivo

In più di un'occasione si è accennato alla mancanza di studi finalizzati alla comprensione del comportamento estivo del sistema edilizio in tutta la sua complessità. A differenza di quanto avviene per quello invernale, infatti, dove è possibile confrontarsi con una cultura ormai decennale di riflessioni in tema di efficienza energetica, per quanto concerne la stagione calda troppo poco è stato fatto affinché risulti agevole, allo stato attuale dell'arte, la corretta valutazione del livello prestazionale di una qualsiasi unità immobiliare da parte dell'operatore – con tutto ciò che ne può derivare: inefficienza del sistema impiantistico, errata premonizione dei consumi stagionali, condizioni intollerabili di discomfort interno, disinformazione dell'utenza sulle piccole attenzioni che quotidianamente può intraprendere al fine di minimizzare, pur mantenendo un accettabile livello di benessere, le spese stagionali legate al condizionamento. Con riferimento a quest'ultimo punto, non bisogna dimenticare come le abitudini dei fruitori incidono enormemente sull'indice di prestazione stagionale, secondo incidenze percentuali di difficilissima premonizione, ma che possono avere al contempo influenza notevole sui costi di gestione.

Del resto l'efficienza impiantistica legata alla sottrazione di calore dagli ambienti risulta fortemente penalizzata rispetto alla somministrazione a causa del quantitativo di energia richiesto da tale operazione: ancora una volta è l'unidirezionalità del flusso di calore (dalle zone a più alto potenziale termico verso quelle a più basso) a farla da padrona. I Δ termici in gioco tra interno ed esterno, pertanto, sono molto ridotti rispetto a quanto avviene per il periodo invernale e bastano dunque piccole variazioni sul bilancio termico globale per causare ingenti variazioni sulle prestazioni del sistema.

Ad ogni modo, la crescente diffusione dei sistemi di condizionamento estivo impone, in un processo che richiede grandi sforzi collettivi affinché l'efficienza energetica diventi di coscienza comune, che il comportamento del sistema edilizio sia valutato durante tutto l'anno.

Basti pensare che su scala europea, secondo il rapporto Energia e Ambiente 2005 pubblicato dall'ENEA, l'Italia è al primo posto sia per il numero di metri quadrati condizionati, che per previsione di crescita, seguita dalla Spagna. Questo dato, ovviamente, è conseguenza diretta del clima in cui ci troviamo a vivere e operare, e, al tempo stesso, costituisce un elemento di riflessione intuitivo attraverso cui comprendere l'importanza (e la strategicità) di orientare gran parte degli sforzi futuri nella piena comprensione del comportamento estivo del sistema edificio. Pertanto gli attuali strumenti a nostra disposizione, così come indicati dalla normativa in essere, si sono dimostrati totalmente inefficaci nel generare un indice di prestazione quantomeno verosimile – con tutto ciò che ne può conseguire, prima in fase di progetto, poi in fase di certificazione energetica e successiva immissione sul mercato.

Come si è avuto modo di dimostrare nel corso del presente lavoro, le campagne di monitoraggio mirate all'acquisizione di dati reali di temperatura ambiente, umidità relativa e consumi stagionali, coadiuvate dall'ausilio di strumenti e tecniche di verifica delle prestazioni energetiche (prove termoflussimetriche, termografiche ecc. e simulazioni in regime dinamico), costituiscono di fatto un validissimo mezzo di indagine, attraverso cui dar risposta a problemi specifici e, magari, rielaborare l'attuale procedura di calcolo sottesa al rilascio dell'Attestato di Certificazione Energetica, quale unico documento attualmente disponibile attestante le prestazioni del sistema oggetto di studio.

5.6. Quale futuro per le simulazioni in regime dinamico

Ponendo un fugace sguardo all'evoluzione delle modalità di valutazione dell'efficienza energetica in edilizia, con tutto ciò che ne comporta sia direttamente che indirettamente, si ritiene alquanto innegabile che, in un futuro prossimo, le simulazioni in regime dinamico rivestano un ruolo di prim'ordine nel processo di determinazione delle prestazioni e della sostenibilità ambientale di un edificio. Già possono essere intravisti i germi di questo cambiamento, ma non val la pena di nascondere le difficoltà insite in questa pur auspicabile rivoluzione. In tale direzione vuole andare il presente intervento – mettendo a nudo quelli che sono i principali ostacoli sottesi alla diffusione su larga scala di questo potente strumento e fornendo, per converso, alcuni indizi atti a supplire ad alcune tra le più evidenti mancanze.

La prima e forse la più difficile tra quelle a cui dar risposta è essenzialmente quella di colmare il gap esistente tra il know-how statunitense, che vanta di fatto un'esperienza trentennale nel campo, e quello nazionale. Con riferimento al motore di simulazione EnergyPlus, che, come si è avuto modo di vedere, affonda le sue radici nei programmi

ministeriali BLAST e DOE-2.1E, la distanza è abissale. Pertanto, non è un caso che chiunque in Italia abbia avuto necessità di approcciare l'uso di questo software si sia scontrato di fatto con la totale assenza di:

- una bibliografia in lingua italiana sufficientemente dettagliata e approfondita, e che spieghi, non tanto e non solo le modalità di compilazione di un buon modello simulabile, quanto piuttosto che introduca l'operatore alle procedure di calcolo usate dal programma. Ciò al fine di permettergli l'individuazione delle migliori strategie semplificative del modello stesso da un lato, la corretta interpretazione dei dati ottenuti dall'altro;
- un database nazionale di contenuti ed esperienze aderenti a quello che potremmo definire il *modus operandi* caratteristico della cultura costruttiva e impiantistica italiana – a cui poter attingere in caso di difficoltà, con conseguente riduzione dei tempi operativi e aumento generale della correttezza formale di quanto compilato;
- elaborazioni accurate ed ufficialmente riconosciute di dati meteorologici completi e processabili dal motore di simulazione;
- studi realizzati ad hoc al fine di validare i molteplici algoritmi di calcolo preposti per la soluzione di problemi specifici in aderenza alle peculiarità costruttive del parco immobiliare nazionale.

Si badi bene. Il continuo far riferimento ad esperienze di carattere locale non deriva da un campanilismo di fondo, ma semplicemente dalla presa di coscienza che i sistemi costruttivi e impiantistici con i quali sono state validate, nel lungo periodo, le procedure di calcolo proposte, possiedono caratteristiche ben diverse da quelle comunemente usate in Italia. Pertanto, prendendo a titolo d'esempio, il modulo per il calcolo dei flussi di calore per trasmissione, è lo stesso manuale di EnergyPlus a sottolineare come l'algoritmo utilizzato non sia mai stato testato per elementi caratterizzati da elevata inerzia termica, e che pertanto potrebbe portare ad errori di valutazione piuttosto grossolani. Va da sé che siffatta situazione non può certo essere tollerata nel momento stesso in cui si pensi di rendere cogente la simulazione in regime dinamico per determinate classi di edifici. Non da ultimo, si ritiene opportuno sottolineare che un processo di validazione che vada in tale direzione potrebbe portare a una modificazione del codice sorgente del programma in questione, riadattando gli algoritmi ivi contenuti, se non alle peculiarità del parco immobiliare italiano, quanto meno di quello europeo.

Esiste poi un problema oggettivo legato alle modalità d'uso del software considerato: l'assenza di un'interfaccia grafica user-friendly che accompagni l'operatore dalla costruzione

del modello geometrico all'analisi dei risultati di output non agevola certo l'apprendimento di questo strumento, il quale risulta lungo, faticoso e talvolta improduttivo. Ad onor del vero, la natura open source di EnergyPlus ha fatto sì che nel corso degli anni siano state sviluppate da terzi diverse interfacce, al fine di rendere più veloce e intuitivo il processo di implementazione dei dati di input all'interno del motore di simulazione (tra le tante, si ricordano DesignBuilder, MC4 Suite, Hevacomp Design Simulation e AECOsim Energy Simulator). Nessuna di queste, tuttavia, è riuscita a centrare due obiettivi di primaria importanza per una GUI (ndr. Graphical User Interface):

- sfruttare a pieno tutte le potenzialità del software base, con le sue molteplici possibilità di calcolo e di configurazione del modello da processare;
- fornire all'operatore pieno controllo su ciò che sta facendo, senza tralasciare momenti fondamentali del processo di compilazione, o quanto meno facendo sì che le singole operazioni si susseguano con successione logica.

Ad ogni modo, si fa presente che la commissione Energy Efficiency & Renewable Energy del Dipartimento per l'Energia degli Stati Uniti, in collaborazione con Berkeley Lab, sta sviluppando un'interfaccia grafica con codice open source che supplisca a tutte le manchevolezze delle controparti con licenza proprietaria. La piena compatibilità tra motore di simulazione e GUI sarebbe infatti garantita dalla compartecipazione tra gli sviluppatori dell'uno e dell'altra, sotto la direzione univoca dello U.S. Department of Energy. Battezzata col nome di SIMERGY, dovrebbe uscire entro la seconda settimana di luglio 2012.

Da ultimo si evidenzia un vuoto di carattere legislativo. Allo stato attuale, infatti, non esistono norme o disposizioni che:

- definiscano il ruolo delle simulazioni in regime dinamico nel processo di valutazione dell'efficienza energetica negli edifici;
- individuino gli strumenti software adottabili tra i molteplici esistenti e, per converso, indichino le procedure di calcolo utilizzabili ai fini della simulazione;
- definiscano i requisiti necessari affinché gli operatori possano legalmente sottoscrivere quanto emerso dalle analisi;
- identifichino chiaramente tanto le modalità di controllo dei documenti depositati, quanto le eventuali pene per non conformità.

Tuttavia, la Commissione Europea sta attualmente discutendo una direttiva ad hoc, con il fine esplicito di supplire a detto vuoto legislativo nei vari Stati membri.

Alla luce di quanto detto sinora e con riferimento specifico alla situazione italiana, si ritiene dunque che molto lavoro ancora deve essere fatto per la proficua diffusione delle

simulazioni in regime dinamico e per il loro esteso utilizzo nei più comuni processi di valutazione dell'efficienza energetica degli edifici. Tuttavia proprio in virtù di ciò, si ritiene che le relative potenzialità di sviluppo siano enormi e che la ricerca indirizzabile in tal senso possa di fatto costituire un'enorme opportunità di accrescimento – anche di carattere economico. La partita deve ancora cominciare ed invero occorre, almeno in quest'occasione, prepararsi al meglio.

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Il presente lavoro – teso a ottenere una maggior conoscenza del sistema edificio valutato nel suo continuo rapporto di relazione con l'ambiente esterno mutabile e dinamico, e con l'utenza che ne fruisce gli spazi – si è caratterizzato sin dalle battute iniziali per un elevato grado di complessità: gli obiettivi preposti, così come presentati in introduzione, hanno infatti vincolato il candidato a un approccio critico e talvolta non lineare al problema, mettendolo innanzitutto nella condizione di verificare biunivocamente tanto le caratteristiche costruttive e impiantistiche dell'intervento oggetto di studio rispetto a quanto dichiarato nei documenti ufficiali di progetto, quanto il livello di affidabilità del principale strumento adoperato (ndr. Il motore di simulazione in regime dinamico EnergyPlus), al fine di poter apportare, nell'eventualità, i dovuti correttivi ai risultati ottenuti. Anche le considerazioni conclusive che si intendono qui presentare non possono che risentire di tale complessità: i molteplici argomenti affrontati, con le relative correlazioni, ne definiscono una natura eterogenea i cui riverberi rendono possibili (e sommamente auspicabili) eventuali sviluppi futuri – soprattutto per quanto concerne la risoluzione delle problematiche inerenti al comportamento estivo del sistema edificio.

Procedendo con ordine, uno dei risultati più interessanti cui si è pervenuti attraverso il presente lavoro è valutabile nell'identificazione dell'utenza, e quindi della dimensione soggettiva rispetto alla contabilizzazione dei consumi di un immobile, quale vera discriminante nel processo di definizione delle prestazioni energetiche dello stesso. Anzi, in un certo qual senso è possibile affermare che, tanto più un sistema edilizio è intrinsecamente efficiente, tanto più i modi di fruizione ne determinano, secondo percentuali sempre crescenti, la risposta positiva o negativa all'uso. A tal proposito, le simulazioni in regime dinamico condotte per gli appartamenti costituenti il campione d'analisi hanno permesso di oggettivare l'influenza del comportamento sul bilancio termico stagionale complessivo, confermando ciò che nel corso delle campagne di monitoraggio invernale ed estivo continuava a rimanere una certezza non quantificabile. Con riferimento alla stagione calda, la ricostruzione della curva che descrive l'incremento dei consumi per il raffrescamento in funzione della temperatura di setpoint adottata ha fatto sì di mettere in chiaro la correlazione esistente tra quanto rilevato e l'indice di prestazione calcolato per la medesima unità. Pertanto viene confermata l'ipotesi secondo cui, data l'esiguità del Δ termico tra interno ed esterno, i consumi legati alla sottrazione di calore dagli spazi abitati cresce con andamento grosso modo lineare in funzione

della temperatura di setpoint adottata dall'utenza, con incrementi dell'ordine del 30% per ogni °C sottratto all'ambiente. Si fa notare che gli scostamenti puntualmente rilevati rispetto a tale incremento percentuale sono da attribuirsi non già al decremento di temperatura in sé, quanto piuttosto alle caratteristiche dell'appartamento considerato (orientamento, condizioni al contorno, rapporto tra s.l.p. e superficie finestrata ecc.). Si ritiene, inoltre, che la curva teorica di crescita dei consumi per il condizionamento estivo sia applicabile a tutti i sistemi edilizi costruttivamente assimilabili a quello oggetto di studio. Se pur manchi, allo stato attuale dell'arte, una validazione empirica di quanto appena dichiarato, questa considerazione affonda le sue radici nella constatazione che gli indici di prestazione utilizzati per la sua costruzione sono stati logicamente calcolati a partire dall'energia sottratta all'ambiente in funzione della temperatura di setpoint interna. Va da sé che in tale accezione non vengono quindi contemplati i COP propri degli impianti termici, quanto piuttosto l'efficienza propria dei terminali scaldanti/raffrescanti.

Sempre con riferimento agli studi condotti intorno al comportamento estivo del sistema edificio considerato, si è avuto modo di constatare la presenza di un errore all'interno delle procedure di calcolo adottate dal software CENED per la verifica dell'indice di prestazione stagionale e ivi implementate a partire dalla norma UNI TS 11300-1. Come si è avuto modo di vedere, infatti, il valore di ET_C individuato dall'Attestato di Certificazione Energetica risulta inspiegabilmente alto rispetto a quanto calcolato, rispettivamente, a partire dai dati del monitoraggio e con EnergyPlus. L'impressione che in linea del tutto generale se ne trae è quella che detta procedura non consideri in maniera corretta le caratteristiche di inerzia termica proprie dell'involucro edilizio, restituendo risultati totalmente fuorvianti, tanto per gli edifici ad alte prestazioni, quanto per quelli di più vecchia concezione. Tuttavia non si è in possesso di sufficienti informazioni per fornire un'indicazione più precisa a riguardo e si coglie piuttosto l'occasione per sollecitare un incisivo processo di verifica tanto della procedura di calcolo quanto di tutta la normativa attualmente in essere. Riferimento esplicito viene fatto alla totale assenza di leggi che regolano da un punto di vista prestazionale il grado di efficienza energetica che un edificio deve garantire durante il periodo estivo.

Da ultimo, si ritiene opportuno spendere alcune brevi parole sul software di calcolo adottato per il raggiungimento dei principali obiettivi preposti. Nonostante le notevoli difficoltà sottese all'implementazione dei modelli, dovute alla mancanza di un'interfaccia grafica user-friendly e, al contempo, alla quantità e alla qualità delle informazioni richieste per una corretta interpretazione delle peculiarità del caso studiato, EnergyPlus si è dimostrato un motore di simulazione estremamente preciso e performante, nonché un indispensabile strumento di indagine. In un processo di continua contrazione dei consumi energetici (pur

aumentando le richieste generali di comfort) e quindi la sempre crescente complessità dei sistemi edilizi atti a garantire detta condizione impone che vengano adottati strumenti capaci di controllare tutte le variabili coinvolte (e loro reciproca interconnessione) nella definizione del bilancio energetico del sistema considerato. Pertanto, sulla base dell'esperienza condotta, si ritiene assolutamente auspicabile l'adozione (consapevole e normata) della simulazione in regime dinamico per la valutazione energetica di tutti gli interventi edilizi che prevedono il consumo di risorse per la climatizzazione, sia essa invernale o estiva.

ALLEGATI TECNICI

Attestato di Certificazione Energetica dell'intervento studiato


 Unione Europea


 Regione Lombardia

LOGO
 comune
 n.d.
 Comune di
 Milano

ATTESTATO DI CERTIFICAZIONE ENERGETICA

Dati proprietario

Nome e cognome -
 Ragione sociale **NUOVI ORIZZONTI società cooperativa**
 Indirizzo **Piazza Cadorna**
 N. civico **20**
 Comune **SARONNO**
 Provincia **Varese**
 C.A.P. **21047**
 Codice fiscale / Partita IVA **01731830129**
 Telefono **0267824600**

Catasto energetico

Numero di protocollo **15146 - 005273 / 10**
 Registrato il **22/03/2010**
 Valido fino al **22/03/2020**

Dati Soggetto certificatore

Nome e cognome **Arianna Palano**
 Numero di accreditamento **292**

Dati catastali

Sezione	Foglio	332	Particella	461	Categoria catastale	-
Subalterni	da 7 a 104		da a	da a	da a	

Dati edificio

Provincia **Milano**
 Comune **MILANO**
 Indirizzo **Via Pompeo Marchesi 64**
 Periodo di attivazione dell'impianto **15 ottobre - 15 aprile**
 Gradi giorno **2404 [GG]**
 Categoria dell'edificio **E.1(1)**
 Anno di costruzione **2007**
 Superficie utile **7855.35 [m²]**
 Superficie disperdente (S) **12302.99 [m²]**
 Volume lordo riscaldato (V) **30675.04 [m³]**
 Rapporto S/V: **0.4 [m³]**
 Progettista architettonico **N.D.**
 Progettista impianto termico **N.D.**
 Costruttore **N.D.**

Mappa



Classe energetica - EP _H	Zona climatica	E
E		

Prestazione raffreddamento - ET_c



Fabbisogno termico per la climatizzazione estiva

Richiesta rilascio targa energetica

Secondo quanto sancito al punto 11 della DGR VIII/5018 e s.m.i., si richiede, all'Organismo di accreditamento, il rilascio della targa

Emissioni di gas ad effetto serra in atmosfera - CO_{2 eq}



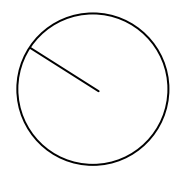
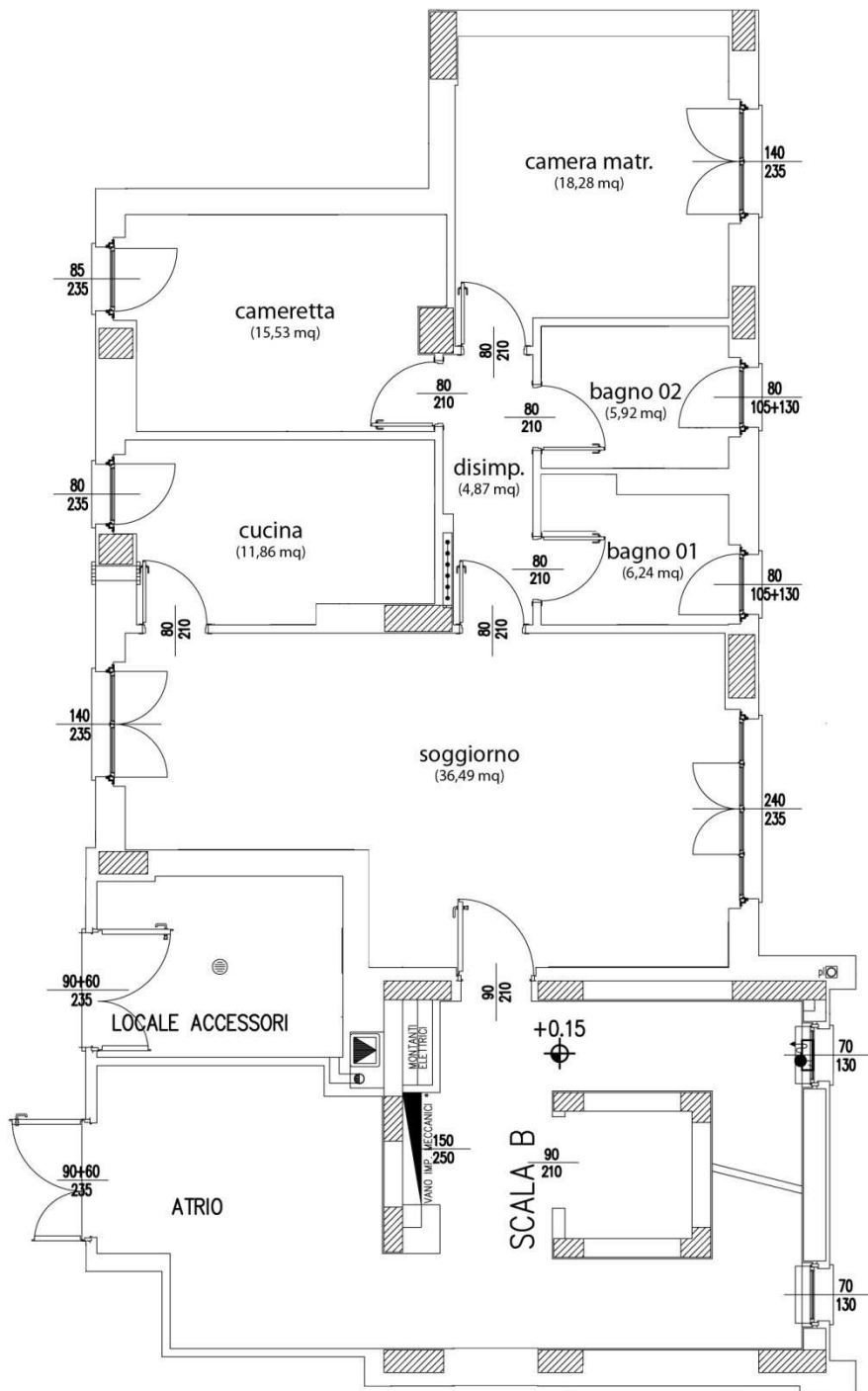


Pagina 1/2

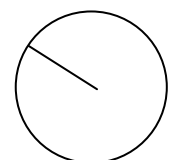
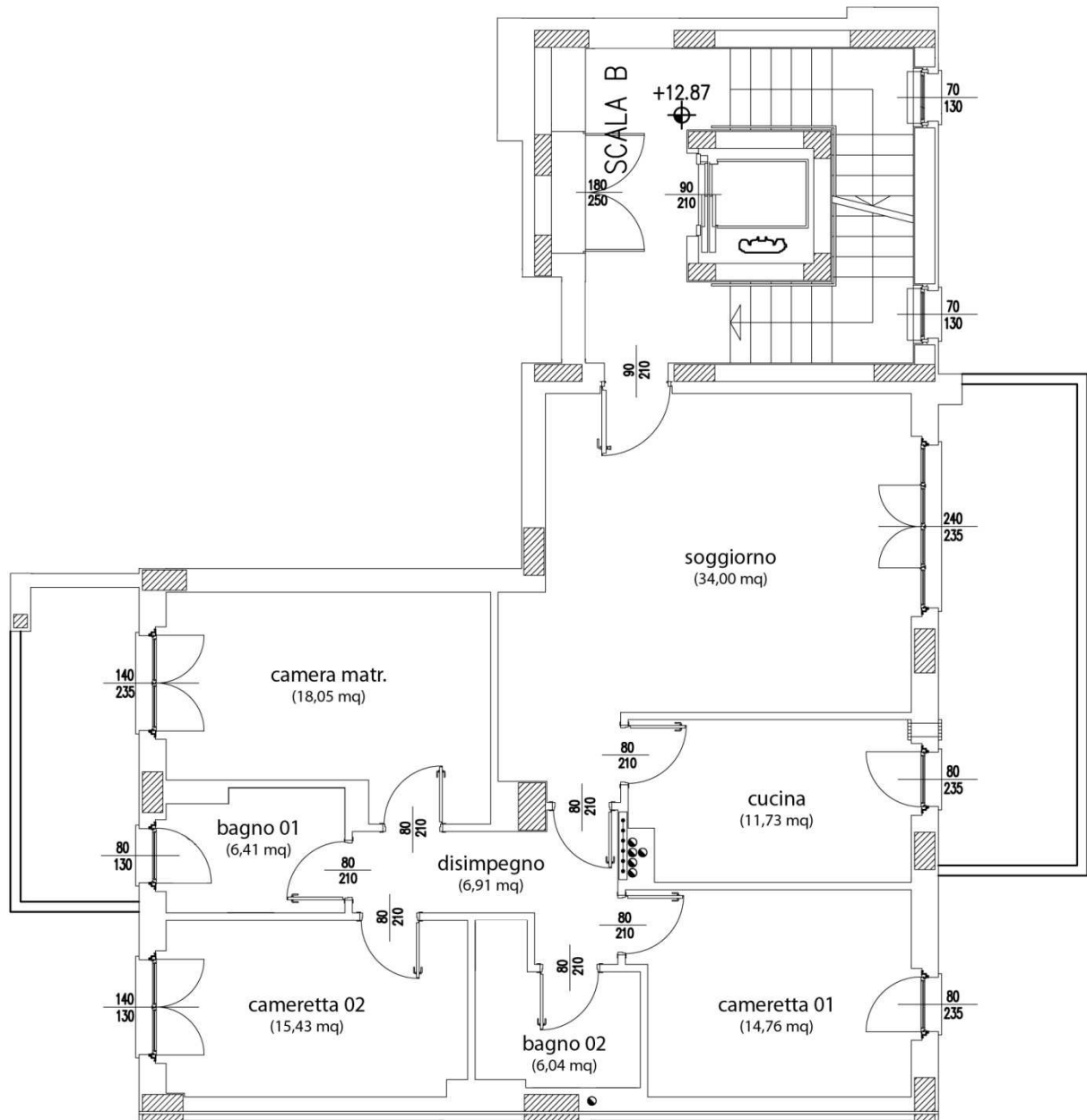
www.cened.it

 1514600527310
 valido fino al 22/03/2020
 ATTESTATO DI CERTIFICAZIONE ENERGETICA

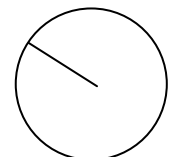
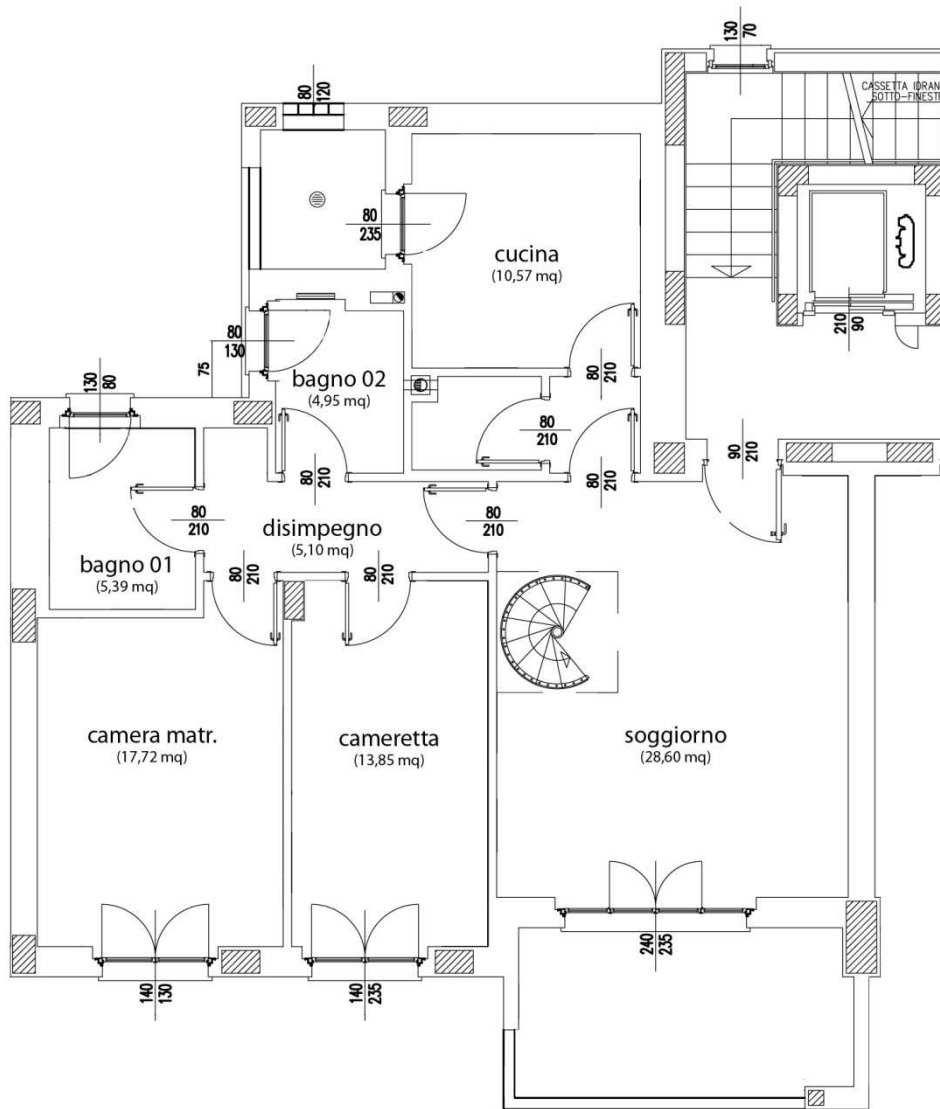
Pianta Appartamento 3, via Pompeo Marchesi, Milano



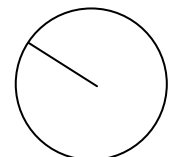
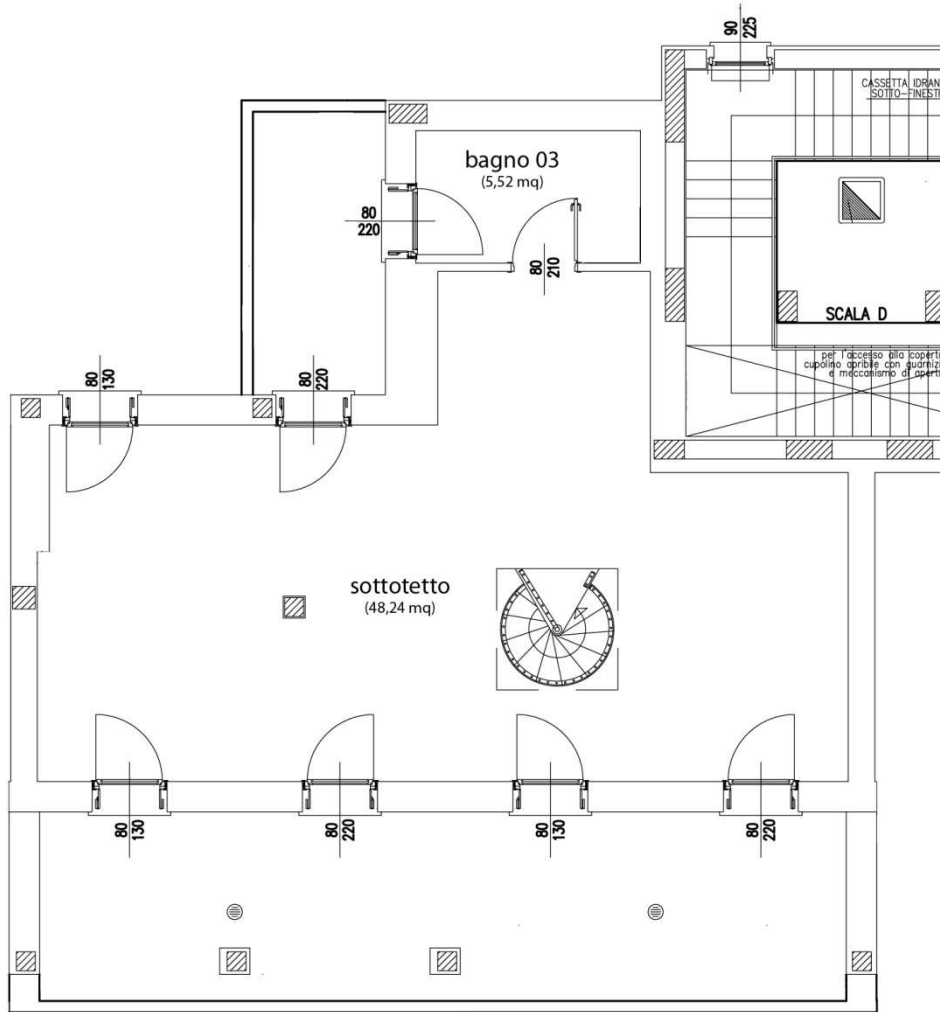
Pianta Appartamento 54, via Pompeo Marchesi, Milano



Pianta Appartamento 95 (P. 7), via Pompeo Marchesi, Milano



Pianta Appartamento 95 (P. 8), via Pompeo Marchesi, Milano



RIFERIMENTI ESTERNI

Bibliografia

- A. Mahdavi, Eva-Maria Doppelbauer, *A performance comparison of passive and low-energy buildings*, Energy and Building (2010).
- F. Butera, *Architettura e ambiente*, ETAS Libri, Milano, 1995.
- L. Tronchin, K. Fabbri, *A Round Robin Test for buildings energy performance in Italy*, Energy and Buildings (2010).
- G. Dall'Ó, L. Sarto, A. Galante, G. Pasetti, *Comparison between predicted and actual energy performance for winter heating in high-performance residential buildings in the Lombardy region (Italy)*, Energy and Building (2010).
- S.n., *End-use metering campaign in 400 households of the European Community (project EURECO)*, Commission of the European Communities (2002).
- E. O. L. Berkeley National Laboratory, *EnergyPlus Engineering Reference*, U.S. Department of Energy | Energy Efficiency & Renewable Energy (2010).
- G. Dall'Ó, *Green Building Economy – Primo rapporto su edilizia, efficienza e rinnovabili in Italia*, Edizioni Ambiente, 2011, Milano.
- G. Dall'Ó, *Green Energy Audit. Manuale operativo per l'analisi energetica e ambientale degli edifici*, Edizioni Ambiente, 2011, Milano
- E. O. L. Berkeley National Laboratory, *Input Output Reference – The Encyclopedic Reference to EnergyPlus Input and Output*, U.S. Department of Energy | Energy Efficiency & Renewable Energy (2010).
- F. Di Andrea, A. Danese, *MICENE (Misure dei Consumi di ENergia Elettrica in 110 abitazioni Italiane) – Curve di carico dei principali elettrodomestici e degli apparecchi di illuminazione*, eERG, end-use Efficiency Research Group, Dipartimento di Energetica, Politecnico di Milano 2004, Milano.
- G. Semprini, C. Marinosci, S. Falcioni, *Prestazioni energetiche invernali ed estive: analisi e confronti con un edificio campione*, DIENCA Facoltà di Ingegneria di Bologna, 2009.

S. Ferrari, M. Baldinazzo, *Valutazione delle prestazioni energetiche degli edifici: dalle norme semplificate all'analisi dinamica*, Atti Convegno AICARR, “Certificazione energetica: normative e modelli di calcolo per il sistema edificio-impianto posti a confronto”, Bologna 16/10/2008, Torino 25/11/2008, Napoli 16/01/2009.

E. O. L. Berkeley National Laboratory, *Tips & Tricks for Using EnergyPlus*, U.S. Department of Energy | Energy Efficiency & Renewable Energy (2010).

L. Guardigli, G. Michiara, *Valutazione in sito delle prestazioni energetiche degli involucri edilizi*, Alma Mater Studiorum Università di Bologna (2006).

Sitografia

<http://www.anit.it>

<http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>

<http://www.casaclima.it>

<http://www.certificazioneenergetica.com>

<http://www.certificazioneenergeticaedifici.org>

<http://www.docet.itc.cnr.it>

<http://www.enea.it>

<http://energyplus.helpserve.com>

RINGRAZIAMENTI

Colgo l'occasione per ringraziare con calore il prof. Giuliano Dall'Ó, mio relatore, per aver seguito con tenacia e dedizione il mio lavoro anche quando, ribollente d'orgoglio ed entusiasmo, mi ostinavo a perseguire risultati ideali, offuscando così il vero obiettivo. Il tempo ha dato ragione all'esperienza, e qui ne prendo atto. Ringrazio con altrettanta riconoscenza l'ing. Luca Sarto, persona di grandissima disponibilità e mente sopraffina, per i consigli spesso illuminanti e una propensione al dialogo che rievoca la più genuina logica del reciproco apprendimento. Sentiti ringraziamenti vanno poi alla prof.ssa Annalisa Galante, per aver dimostrato in più di un'occasione di porre grande fiducia nelle mie potenzialità. Ringrazio i miei colleghi e compagni di ufficio – soprattutto Nicola ed Elisabetta, per il loro aiuto prezioso, sempre e comunque degno di nota. A tutte queste persone, ancora una volta, grazie.

Sono stato a lungo indeciso sul come gestire questo spazio, salvo poi rendermi conto di non avervi mai ringraziato. Ai miei Genitori. Grazie.