

POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale in

Ingegneria Edile

Tesi di Laurea Magistrale

DIAGNOSI ENERGETICA DELLA CASERMA RIBERI IN TORINO

**Ottimizzazione dei componenti d'involucro con l'algoritmo
NSGA-II**



Relatore:

Prof. Ing. Vincenzo Corrado

Correlatori:

Ing. Ilaria Ballarini

Arch. Giovanna De Luca

Candidato:

Giovanni Lanzilotti

Ottobre 2019

1. Sommario

1.	Sommario	2
2.	Introduzione	5
3.	La simulazione energetica dinamica degli edifici	7
3.1	Energy Plus	8
3.1.1	L’Air heat balance.....	10
3.1.2	Metodo predictor-corrector.....	12
3.1.3	Surface heat balance manager.....	12
3.1.4	Building system simulation manager	15
3.2	DesignBuilder	16
4.	La caserma Riberi	18
4.1	Storia della caserma	18
4.2	Area d’intervento	20
5.	Costruzione del modello con DesignBuilder	24
5.1	Suddivisione in blocchi	24
5.2	Il modello geometrico	25
5.3	L’illuminazione	29
5.4	Definizione del “sito” & dati climatici	32
5.4.1	DPR 412 1993 (zona climatica e categoria).....	35
5.5	Definizione delle attività	35
5.6	La ventilazione.....	37
5.7	Definizione delle Aperture	39
5.8	Definizione della sezione “Costruzioni”	44
5.8.1	Stratigrafie dell’involucro.....	45
5.8.2	Diagramma di Glaser	51

5.9	Definizione della sezione HVAC.....	53
6.	I consumi misurati.....	58
7.	Energy Signature.....	60
8.	Calibrazione del modello.....	63
9.	Risultati della simulazione.....	70
10.	Ottimizzazione delle misure di efficientamento energetico.....	79
10.1	Il costo globale.....	79
10.2	Ottimizzazione multi-obiettivo.....	81
10.2.1	Ottimo Paretiano.....	82
10.2.1.1	Esempio di soluzione Pareto-Optimal.....	82
10.2.1.2	Algoritmi e tecniche di ottimizzazione evoluta.....	83
10.3	Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm-II (NSGA-II).....	84
10.3.1	Non-Dominated Sorting.....	85
10.3.2	Crowding distance.....	86
10.3.3	NSGA-II , Esempi.....	87
10.3.3.1	Operazioni Genetiche.....	88
10.3.3.1.1	Codifica.....	88
10.3.3.1.2	Crossover.....	89
10.3.3.1.3	Mutazione.....	89
10.3.3.1.4	Rank e Crowding Distance.....	90
10.4	L'ottimizzazione con DesignBuilder.....	93
10.4.1	Introduzione.....	93
10.4.2	Le misure di efficientamento.....	94
10.4.3	Risultato dell'ottimizzazione.....	95
10.4.4	Comfort adattivo.....	101
10.4.1	Verifiche legislative.....	106

11.	Conclusioni	111
12.	Ringraziamenti	112
13.	Bibliografia & sitografia.....	113

2. Introduzione

I mutamenti climatici e le risorse sempre più scarse rendono l'impiego efficiente ed efficace dell'energia un tema di rilevanza sociale. Come è noto, il settore civile è tra i maggiori responsabili degli usi finali di energia secondo l'ENEA, circa il 40% nell'Unione Europea (figura seguente).

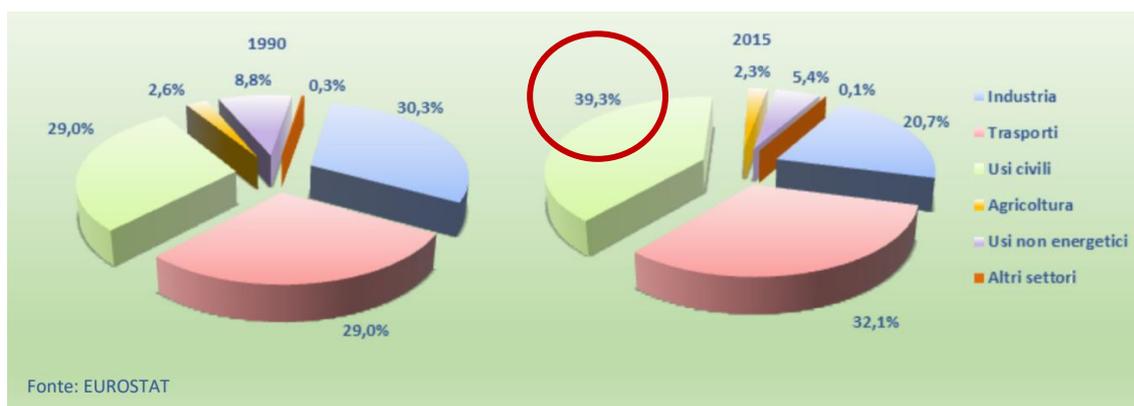


Figura 1 Impieghi finali di energia per settore (%), anni 1990 e 2015

Alcuni fenomeni contingenti quali l'aumento delle temperature su scala planetaria e la conseguente sempre maggiore richiesta di "benessere e di comfort", tra cui la climatizzazione estiva, fanno crescere in modo consistente tali consumi. Per questo intervenire sul patrimonio edilizio esistente è una priorità imprescindibile. Esistono differenti strumenti che, se utilizzati in modo corretto ed integrati tra loro, consentono un notevole risparmio di energia del comparto civile. Tra questi primeggiano le fonti di energia rinnovabili quali fotovoltaico, geotermico, minieolico, micro-idroelettrico ed interventi atti ad incrementare le prestazioni energetiche degli edifici, sia in fase di nuova costruzione che di ristrutturazione, come l'utilizzo di materiali isolanti ad altissime prestazioni e l'installazione di sistemi solari passivi.

Al fine di poter intervenire in maniera intelligente sul patrimonio edilizio esistente, esistono strumenti che consentono di prevedere, se pur con un certo margine di incertezza, i consumi reali di un edificio. Ciò consente di poter selezionare il corretto mix di interventi da adottare al fine di minimizzare il consumo energetico che sia anche economicamente vantaggioso. L'obiettivo del presente lavoro di tesi è proprio quello di approfondire il tema della simulazione energetica dinamica degli edifici, quale strumento complesso e molto potente utile a valutare i reali consumi energetici. La simulazione verrà applicata ad un caso di studio, che vedremo

meglio più avanti, gentilmente offerto dal team di docenti responsabili del corso “Energy Audit and Certification of Building” i quali cito e ringrazio: Prof. Ing. Vincenzo Corrado , Ing. Ilaria Ballarini e l’Arch. Giovanna De Luca. Infatti, la simulazione sarà finalizzata alla calibrazione del modello , in un primo momento, ed alla ottimizzazione delle misure di efficientamento energetico, in un secondo momento, attraverso un’analisi Cost-Optimal.

Più specificatamente, per quanto riguarda la parte di calibrazione , occorre sottolineare che è una fase molto importante della più ampia procedura nota come Diagnosi Energetica.

Nella figura seguente vediamo schematizzato il processo che è stato seguito per la diagnosi energetica. Ovvero utilizzando i dati relativi ad i consumi misurati e quelli simulati è stato possibile ottenere un modello calibrato. Ovviamente utilizzando i dati climatici reali ed un profilo di utilizzo d’utenza reale. Successivamente inserendo i dati climatici standard si procede alla valutazione delle misure di efficientamento, alla Cost Analysys ed alla individuazione della soluzione ottimale nei confronti dei due obiettivi prefissati. Inserendo quindi all’interno del software , il tipo o i tipi di materiale , i relativi spessori e caratteristiche termo-fisiche, i costi è possibile procedere con l’analisi Cost-Optimal ed andare quindi ad individuare la soluzione ottimale. L’output dell’ottimizzazione che ci si aspetta sarà di questo tipo (figura seguente). In cui individuiamo il fronte di Pareto e tre punti principali i quali rappresentano l’edificio reale (energivoro e con costo globale maggiore), la soluzione più performante energeticamente ma con costi maggiori , ed infine la soluzione ottimale.

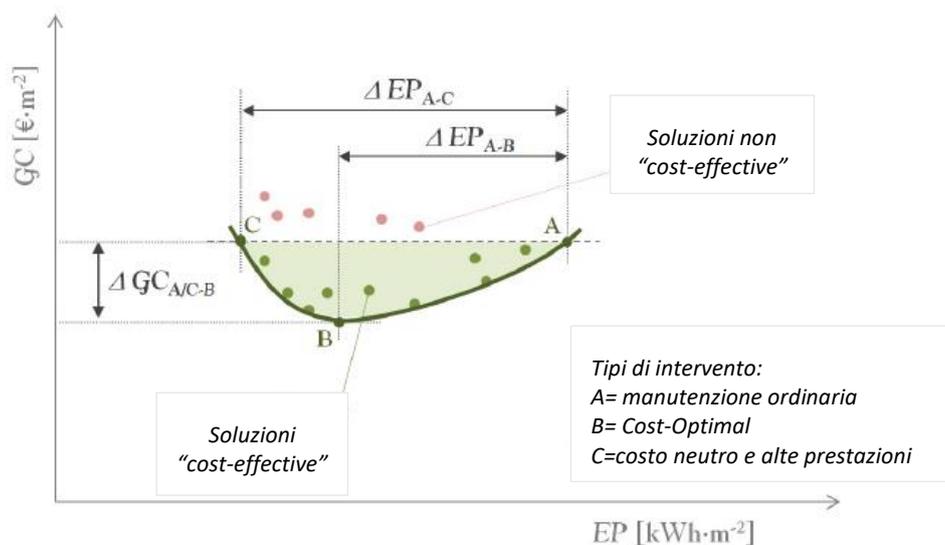
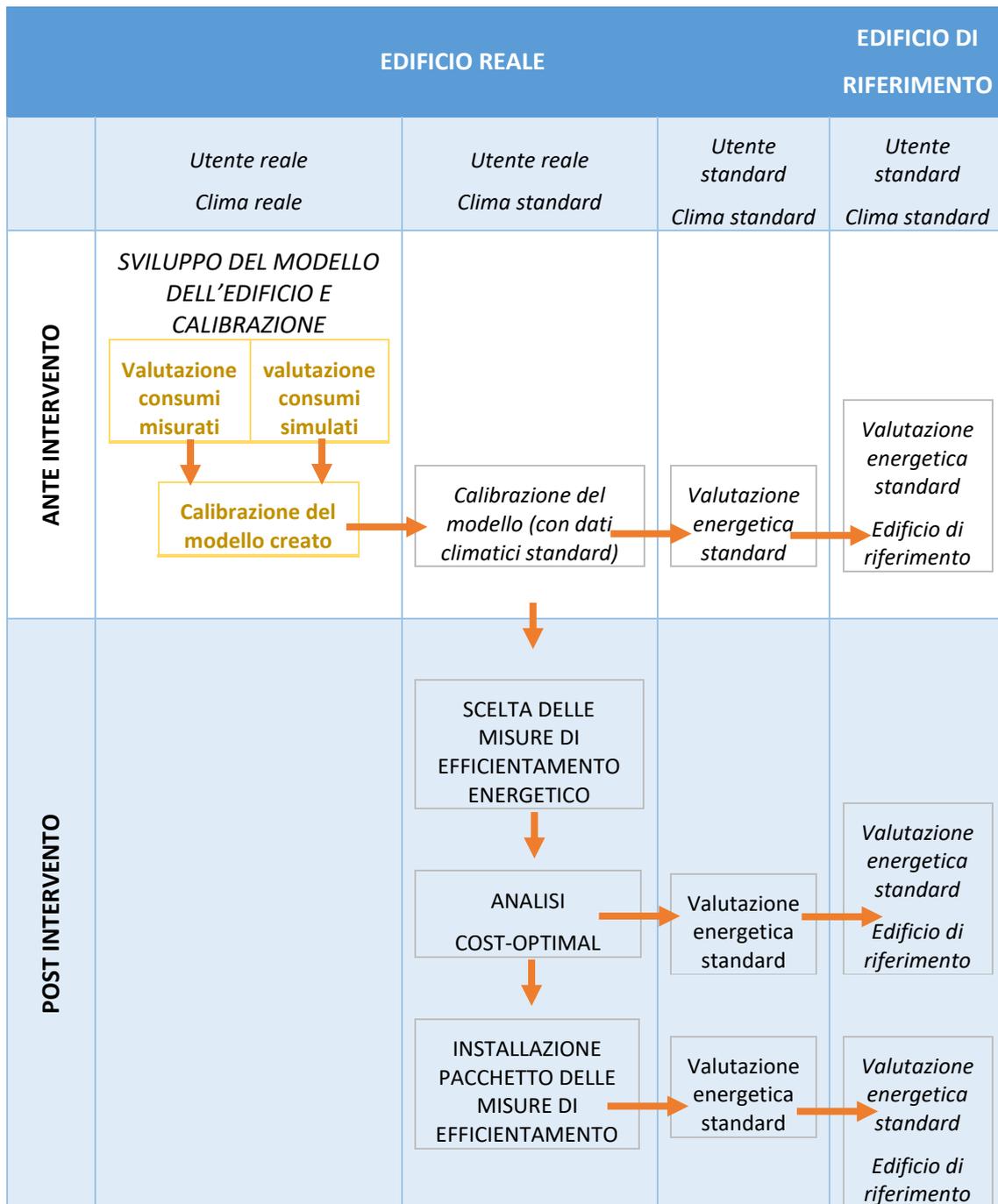


Figura 2 Costo globale e performance energetica, obiettivi dell’ottimizzazione



3. La simulazione energetica dinamica degli edifici

L'edificio è un sistema complesso al cui interno si sviluppano diversi fenomeni fisici in continua relazione tra loro. Questi fenomeni coinvolgono l'involucro, gli impianti, la destinazione d'uso, la presenza di macchinari ecc.. La progettazione degli edifici ad alta efficienza energetica necessita di strumenti avanzati che permettano di valutare correttamente i fenomeni termofisici.

Solo la “simulazione dinamica” analizza con precisione ed affidabilità le prestazioni energetiche di un edificio ad alte prestazioni come gli “NZEB” o gli edifici in “Classe A”.

Come specificato dalla Direttiva 2012/31/UE sulla prestazione energetica nell’edilizia – EPBD recast :

- A partire dal 31 dicembre 2018 gli edifici di nuova costruzione occupati da enti pubblici e di proprietà di quest’ultimi dovranno essere edifici ad energia quasi zero
- Entro il 31 dicembre 2020 tutti gli edifici di nuova costruzione dovranno essere a energia quasi zero

“Edificio ad energia quasi zero” significa edificio ad altissima prestazione energetica, il cui fabbisogno energetico molto basso o quasi nullo dovrebbe essere coperto in misura molto significativa da energia da fonti rinnovabili, compresa l’energia da fonti rinnovabili prodotta in loco o nelle vicinanze.

La progettazione di NZEB quindi sarà sempre più una realtà , e con essa anche l’utilizzo di questi strumenti avanzati. La simulazione energetica dinamica è la disciplina che studia questa complessità tramite l’utilizzo di software avanzati che superano il metodo semplificato basato sul calcolo (semi) stazionario.

3.1 Energy Plus

Energy Plus è un programma gratuito di simulazione energetica tra i più utilizzati su scala mondiale sviluppato dal Dipartimento per l’efficienza energetica e l’energia rinnovabile del Governo degli Stati Uniti (EERE). Il software può essere utilizzato per stimare carichi energetici di riscaldamento, raffrescamento, illuminazione e ventilazione sulla base di simulazioni orarie o sub-orarie definite dall’utente.



Figura 3 logo del software

Per valutare quindi la prestazione energetica dell’edificio in condizioni di esercizio nelle diverse configurazioni è stato utilizzato EnergyPlus, un software open source per la simulazione energetica in regime dinamico, sviluppato negli Stati Uniti nel 2001 dal Department of Energy (DOE). Prima di EnergyPlus, il Department of Energy aveva sviluppato il DOE-2, mentre il

Department of Defence aveva sviluppato il BLAST. Ma a differenza di questi ultimi che sono basati su una simulazione di tipo sequenziale, in cui l'informazione sui carichi termici determinati nella thermal zone viene inviata in cascata ai componenti impiantistici, EnergyPlus esegue simulazioni di tipo integrato tra ambiente e impianto, ovvero l'informazione relativa al carico, che l'impianto deve essere in grado di bilanciare, viene utilizzata per determinare le condizioni di temperatura dell'aria in ambiente, attraverso un processo iterativo. Il software è programmato in Fortran 90 ed è strutturato in moduli. Il beneficio della modularità risiede nel fatto che i ricercatori possono migliorarli contemporaneamente senza interferire su altri moduli o aggiungerne facilmente di nuovi.

Il programma è suddiviso in 3 blocchi principali interconnessi:

- il Surface Heat Balance Manager che risolve il bilancio termico in corrispondenza delle superfici,
- l'Air Heat Balance Manager che risolve il bilancio dell'ambiente simulando gli scambi termici radiativi e convettivi,
- il Building System Simulation Manager che si occupa della simulazione dei componenti impiantistici, siano essi sistemi idronici o ad aria.

Questi moduli principali, facenti parte dell'Integrated Solution Manager, interagiscono con altri moduli secondari in modo tale che tutti gli elementi del modello siano risolti simultaneamente, e non in maniera sequenziale, per ottenere una simulazione il più possibile realistica.

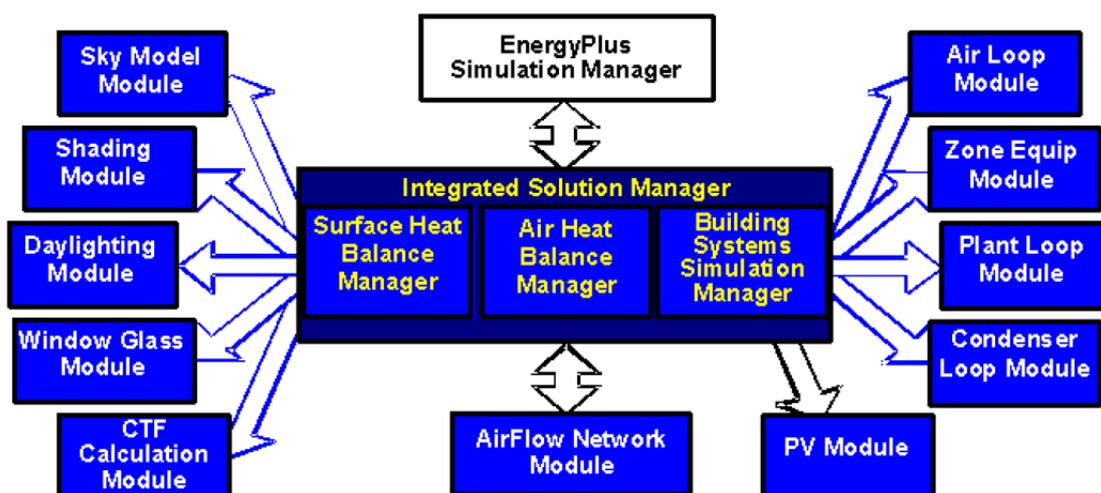


Figura 4 Schema del programma EnergyPlus

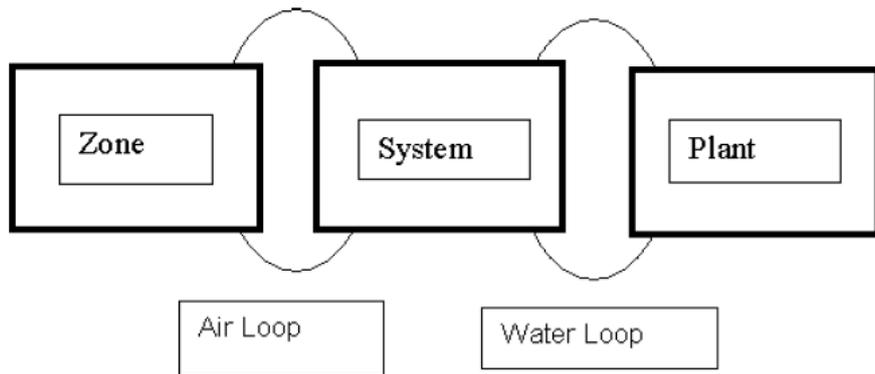


Figura 5 schema del processo di soluzione simultanea

L'intero programma integrato può essere rappresentato come una serie di elementi collegati da circuiti come mostrato nella figura. In EnergyPlus tutti gli elementi sono integrati e controllati dall'Integrated Solution Manager e lo schema di soluzione si basa generalmente su successive iterazioni.

3.1.1 L'Air heat balance

L'air heat balance engine deriva da IBLAST (versione di ricerca del BLAST) e differisce dal metodo dei room weighting factors del DOE-2 perché considera il bilancio termico sull'aria ambiente (e perciò viene definito anche metodo esatto).

Le principali assunzioni su cui si basa il metodo sono:

- temperatura dell'aria ambiente uniforme (perfetta miscelazione);
- temperatura uniforme di ciascuna superficie;
- irraggiamento uniforme ad alta e a bassa lunghezza d'onda;
- superfici uniformemente diffondenti;
- trasmissione del calore per conduzione monodimensionale.

Alla base di tutto, per la zona, c'è la soluzione dell'equazione differenziale ordinaria usando l'approccio "predictor-corrector" e tale formulazione inizia con lo scrivere il bilancio sull'aria:

$$C_z \frac{dT_z}{dt} = \sum_{i=1}^{N_{sl}} \dot{Q}_i + \sum_{i=1}^{N_{surface}} h_i A_i (T_{si} - T_z) + \sum_{i=1}^{N_{zones}} \dot{m}_i C_p (T_{zi} - T_z) + \dot{m}_{inf} C_p (T_{\infty} - T_z) + \dot{Q}_{sys}$$

Dove:

$\sum_{i=1}^{N_{sl}} \dot{Q}_i$ = somma dei carichi interni convettivi

$\sum_{i=1}^{N_{surface}} h_i A_i (T_{si} - T_z)$ = trasferimento termico convettivo dalla superficie della zona

$\dot{m}_{inf} C_p (T_{\infty} - T_z)$ = trasferimento termico dovuto all'infiltrazione dell'aria esterna

$\sum_{i=1}^{N_{zones}} \dot{m}_i C_p (T_{zi} - T_z)$ = trasferimento termico dovuto al miscelamento d'aria tra zone

\dot{Q}_{sys} = l'output del sistema aria

$C_z = \rho_{air} C_p C_T$ = capacità termica dell'aria della zona

ρ_{air} = densità dell'aria

C_p = calore specifico dell'aria della zona

C_T = moltiplicatore della capacità di calore sensibile

La capacità dell'aria può essere di solito trascurata e quindi l'equazione si semplifica. Inoltre si ha che \dot{Q}_{sys} può essere espresso come la differenza di entalpia dell'aria che entra ed esce dalla zona $\dot{Q}_{sys} = \dot{m}_{sys} C_p (T_{sup} - T_z)$, quindi :

$$C_z \frac{dT_z}{dt} = \sum_{i=1}^{N_{sl}} \dot{Q}_i + \sum_{i=1}^{N_{surface}} h_i A_i (T_{si} - T_z) + \sum_{i=1}^{N_{zones}} \dot{m}_i C_p (T_{zi} - T_z) + \dot{m}_{inf} C_p (T_{\infty} - T_z) + \dot{m}_{sys} C_p (T_{sup} - T_z)$$

EnergyPlus fornisce tre diversi algoritmi di soluzione per risolvere l'equazione di bilancio dell'energia dell'aria e l'umidità della zona. Questi sono :

- 3rd Order Backward Difference,
- Euler Method
- Analytical Solution.

I primi due metodi per risolvere l'equazione usano l'approssimazione della differenza finita mentre il terzo usa la soluzione analitica.

3.1.2 Metodo predictor-corrector

Lo schema predictor-corrector può essere riassunto come segue:

- Usando l'equazione precedente, viene fatta una stima dell'energia del sistema dell'aria richiesta per bilanciare equazione con la temperatura dell'aria di zona uguale alla temperatura nominale.
- Con tale quantità come richiesta, il sistema dell'aria viene simulato per determinare la sua effettiva fornitura capacità al momento della simulazione. Ciò includerà una simulazione dell'impianto, se necessario.
- La capacità effettiva del sistema di aria viene utilizzata per calcolare la zona risultante temperatura.

3.1.3 Surface heat balance manager

Connesso all'air heat balance manager è il surface heat balance manager che comprende i moduli per la determinazione delle temperature superficiali (quelle della faccia interna incognite nello schema risolutivo dell'air heat balance) e dei flussi termici in corrispondenza delle facce interna ed esterna di ogni parete. I flussi termici scambiati attraverso i componenti di involucro sono determinati utilizzando la tecnica dei fattori di risposta, basata sul concetto di funzione di trasferimento, algoritmo in grado di legare la sollecitazione indotta sul sistema fisico parete con la risposta del sistema come mostra la seguente equazione.

$$q''_{ko}(t) = \sum_{j=0}^{\infty} X_j T_{o,t-j\delta} - \sum_{j=0}^{\infty} Y_j T_{i,t-j\delta}$$

Dove q'' è il flusso di calore, T è la temperatura, i vuol dire "inside", o "outside", t rappresenta lo step temporale corrente, mentre X e Y sono i fattori di risposta. Come si può vedere, concorrono alla definizione del flusso di calore attraverso la parete due serie infinite di temperature, per fortuna queste serie decadono molto rapidamente e, grazie alla similarità dei termini maggiori, è possibile sostituirle con serie storiche dei flussi di calore. La nuova soluzione contiene elementi noti come funzioni di trasferimento (FDT).

$$q''_{ki}(t) = -Z_o T_{i,t} \sum_{j=1}^{nz} Z_j T_{i,t-j\delta} + Y_o T_{o,t} + \sum_{j=1}^{nz} Y_j T_{o,t-j\delta} + \sum_{j=1}^{nq} \Phi_j q''_{ki,t-j\delta}$$

$$q''_{ko}(t) = -Y_o T_{i,t} \sum_{j=1}^{nz} Y_j T_{i,t-j\delta} + Y_o T_{o,t} + \sum_{j=1}^{nz} X_j T_{o,t-j\delta} + \sum_{j=1}^{nq} \Phi_j q''_{ki,t-j\delta}$$

Dove i ed o stanno ad indicare il flusso interno ed esterno rispettivamente , e:

- X_j = coefficiente esterno , $j= 0,1\dots nz$
- Y_j = coefficiente attraverso gli strati , $j= 0,1\dots nz$
- Z_j = coefficiente interno , $j= 0,1\dots nz$
- Φ_j = coefficiente di flusso , $j= 1,2,\dots nq$
- T_i = temperatura della faccia interna
- T_o = temperatura della faccia esterna
- q''_{ko} = flusso per conduzione sulla faccia esterna
- q''_{ki} = flusso per conduzione sulla faccia interna

I coefficienti numerici della funzione di trasferimento, di tipo lineare, sono detti appunto fattori di risposta e possono essere raggruppati in quattro serie (X, Y, Z e Φ) che vanno a moltiplicare i valori di temperatura superficiale interna, esterna (all'istante considerato e ad un certo numero di istanti precedenti) e flusso termico sulla faccia di interesse (ad un certo numero di istanti precedenti). Tali coefficienti sono costanti e perciò devono essere calcolati un'unica volta; il loro numero cresce al crescere dello spessore e della massa del componente e varia a seconda del time step considerato. La determinazione dei coefficienti numerici di queste funzioni di trasferimento può essere effettuata in diversi modi: EnergyPlus adotta la procedura denominata state space method già sviluppata in IBLAST. Questa procedura è definita dalle seguenti equazioni matriciali lineari:

$$\frac{d[x]}{dt} = [A][x] + [B][u]$$

$$[y] = [C][x] + [D][u]$$

Dove x è il vettore delle variabili di stato, u è il vettore inputs , y è il vettore output , t è il tempo, e A, B , C , D sono i coefficienti della matrice.

In questo caso le variabili di stato sono le temperature nodali, la temperatura ambientale (sia interna che esterna) sono gli input , e i flussi di calore su entrambe le facce sono gli output. Ecco che le equazioni precedenti assumono la seguente forma:

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} T_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ T_n \end{bmatrix} = [A] \begin{bmatrix} T_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ T_n \end{bmatrix} + [B] \begin{bmatrix} T_i \\ T_o \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} q''_i \\ q''_o \end{bmatrix} = [C] \begin{bmatrix} T_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ T_n \end{bmatrix} + [D] \begin{bmatrix} T_i \\ T_o \end{bmatrix}$$

Dove T_1, T_2, \dots, T_{n-1} sono le differenze delle temperature nodali, n il numero dei nodi, T_i e T_o sono le temperature ambientali interne ed esterne, q''_i e q''_o sono i flussi di calore (l'output cercato).

Nel caso di una parete semplice con solo due nodi e convezione su entrambi i lati, la soluzione è data dalle seguenti equazioni alle differenze finite:

$$C \frac{dT_1}{dt} = hA (T_o - T_1) + \frac{T_2 - T_1}{R}$$

$$C \frac{dT_2}{dt} = hA (T_i - T_2) + \frac{T_1 - T_2}{R}$$

$$q''_i = h (T_i - T_2)$$

$$q''_o = h (T_1 - T_o)$$

Dove:

$$R = \frac{l}{\kappa A'}$$

$$C = \frac{\rho C_p l A}{2},$$

A è l'area della faccia esposta alla temperatura ambientale.

Viene tuttavia persa qualsiasi informazione relativa alle temperature all'interno del componente edilizio (e quindi ogni possibilità di verificare eventuali fenomeni di condensa interstiziale). Però oltre all'algoritmo di default, sono disponibili altri algoritmi per determinare il flusso per conduzione attraverso metodi alle differenze finite (conduction finite difference) e per accoppiare il trasporto di massa di vapore alla trasmissione del calore attraverso i metodi moisture transfer functions e moisture finite difference.

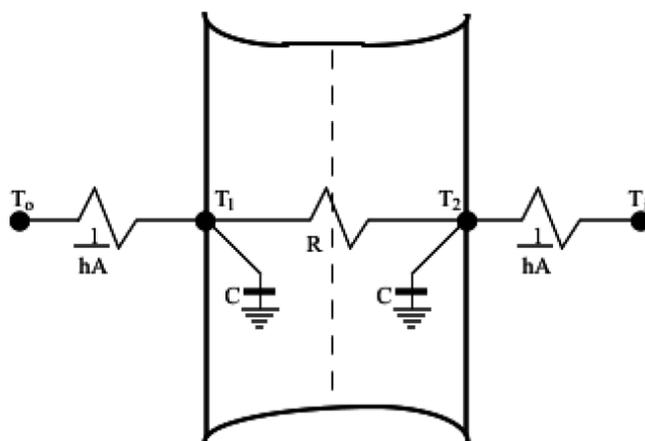


Figura 6 muro semplice con due nodi, esempio di "state space"

3.1.4 Building system simulation manager

Il building system simulation manager può simulare i più diffusi componenti impiantistici, ed è basato su una scomposizione dei componenti di un impianto in tre sotto-sistemi:

- l'air loop,
- il plant loop e
- il condenser loop.

L'air loop serve a modellare le reti aerauliche, dalle unità di trattamento dell'aria ai terminali di impianto in ambiente; i plant loop e condenser loop a modellare le reti idroniche (fluidi termovettori sotto forma di acqua e fluidi di condensazione).

Al loro interno si distinguono ancora componenti relativi alla domanda (batterie di scambio termico) e componenti relativi all'offerta (generatori di calore, gruppi frigoriferi nel caso del plant loop; torri evaporative, pozzi nel caso del condenser loop).

La prima versione del software è stata pubblicata nel 2001, attualmente la versione corrente comprende la possibilità di simulare un gran numero di componenti e schemi impiantistici con un elevato grado di dettaglio, infatti è anche presente un raggruppamento di componenti per la simulazione degli impianti idrici di un edificio (compresi i sistemi di raccolta e accumulo di acqua meteorica) e degli impianti di generazione distribuita dell'energia elettrica, tra cui – oltre ai pannelli fotovoltaici – motori a combustione interna, microturbine, celle a combustibile. Il grado di dettaglio dei dati di input risulta quindi molto elevato.

Il programma è stato concepito come un codice di calcolo, senza interfacce user friendly a meno dell'editor che consente la scrittura del file di testo ASCII che contiene i dati di input (IDF Editor). Soggetti indipendenti hanno nel tempo sviluppato interfacce grafiche di input e di output, tra cui la maggiormente significativa è DesignBuilder.

3.2 DesignBuilder

Essendo Energy Plus molto difficile da utilizzare, per il presente lavoro verrà utilizzato il software DesignBuilder. Dato che DesignBuilder utilizza Energy Plus come suo motore di simulazione, è uno strumento software molto preciso e potente, sebbene allo stesso tempo abbia una interfaccia più facile da usare.



Figura 7 logo del software

Design Builder è un software grafico avanzato, che permette all'utente di modellare edifici e di effettuare calcoli per generare ed analizzare dati prestazionali e per redigere documenti relativi alla rispondenza dei requisiti energetici. E' possibile condurre analisi energetiche di tipo dinamico, calcoli di progetto di riscaldamento e raffrescamento, valutazioni di illuminazione naturale e analisi fluido dinamiche computazionali (CFD), permettendo così di intraprendere analisi dettagliate e di ottimizzare il processo di progettazione degli edifici.

E' ritenuto l'interfaccia utente più completa per il software di calcolo Energy Plus, creato dall'U.S. Department of Energy, e consente di rappresentare in 3D il modello dell'edificio, assegnandogli caratteristiche fisiche e termiche, quali dimensioni, materiali, impianti termici e carichi termici. Nell'elaborato svolto è stata usata la versione V5.5.2.007 rilasciata nel 21 gennaio del 2019.

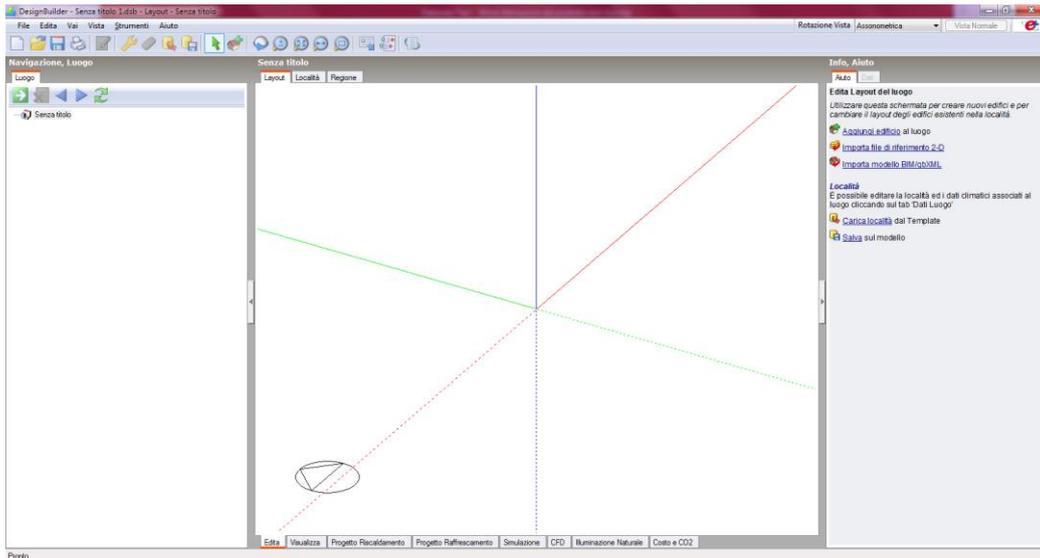


Figura 8 spazio di lavoro del software

Designbuilder si caratterizza per il suo funzionamento ed organizzazione gerarchico , infatti si inizia la modellazione partendo dal livello sito definendo il luogo e successivamente all’edificio creando , come vedremo nei capitoli successivi, prima il modello geometrico dei vari blocchi, ed infine assegnando i vari materiali ad ogni componente mediante la creazione dei “Template” .

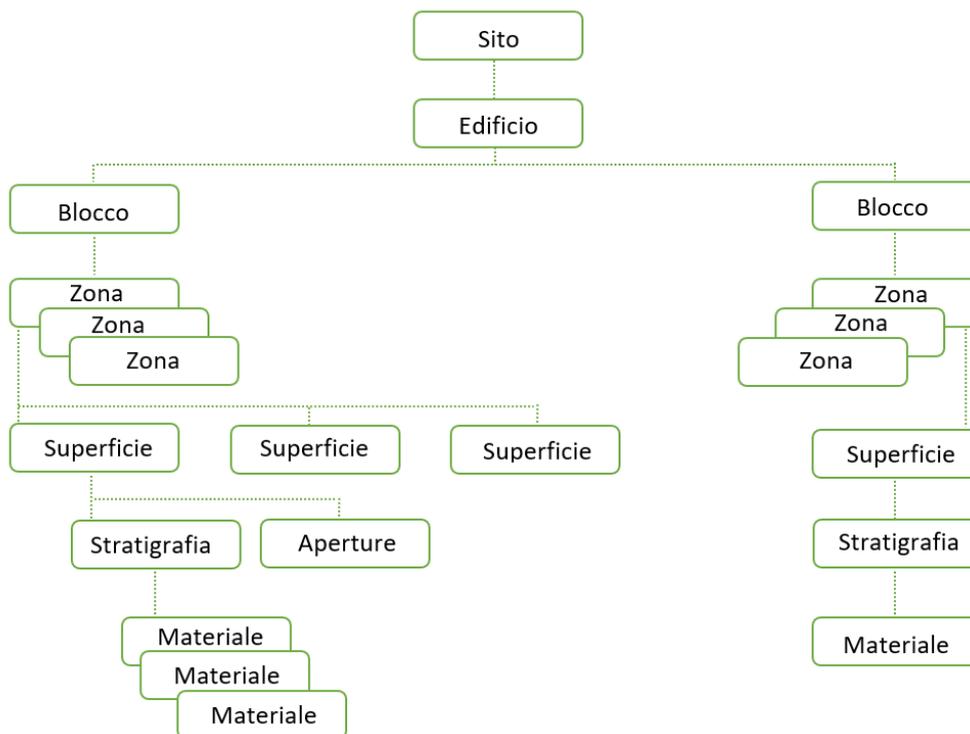


Figura 9 schema organizzazione gerarchica del software

4. La caserma Riberi

4.1 Storia della caserma

La storia dell'ospedale militare Alessandro Riberi inizia con la convenzione del 1904 fra la Città di Torino e l'Amministrazione della Guerra che prevede la costruzione di un ospedale militare divisionale nella zona della nuova piazza d'armi. L'ospedale militare è intitolato a Alessandro Riberi (1794-1861), senatore, professore, cavaliere, innovatore nel settore della medicina, dell'università e delle strutture sanitarie, sia militari sia civili.

Successivamente l'ospedale è traslocato in corso IV Novembre 66 dalla precedente sede nell'Accademia Albertina in una nuova costruzione realizzata dal 1903 al 1913 a spese dello stato, su terreno acquistato e donato all'esercito dal Comune di Torino, è realizzato con una struttura architettonica a padiglioni, propria delle caserme di inizio Novecento, per consentire un'adeguata illuminazione e ventilazione degli ambienti.



Figura 10 Ospedale militare ora sede del Campus Riberi e del DMML Riberi , vista da Corso IV Novembre

Il fabbricato principale, affacciato sulla piazza d'armi venne adibito alla Direzione. Costituito da una manica con estensione longitudinale predominante presentava una facciata con due piani fuori terra. Gli altri padiglioni sono organizzati su di un piano terreno e l'aggiunta, talvolta, di un solo primo piano o seminterrato, vennero costruiti in numero tale da suddividere le varie funzioni. I vari padiglioni, che si affacciano sul cortile centrale, risultano collegati da gallerie con

vetrate liberty di rigorosa funzionalità; l'unica costruzione di stile decisamente diverso è la cappella goticeggiante.

L'ospedale militare è quindi attualmente sede del Campus Riberi e del DMML (Dipartimento Militare di Medicina Legale) "Riberi". Con il passaggio da esercito di leva ad esercito professionale (2004) ci sono stati dei cambiamenti alle strutture del complesso "Riberi", infatti sono stati effettuati lavori di ristrutturazione: una parte struttura sanitaria ambulatoriale e medico-legale, una parte organismo alloggiativo. In occasione dei Giochi Olimpici Invernali di Torino 2006, l'ospedale è stato oggetto di una forte ristrutturazione: «il Ministero della Difesa, l'Agenzia del Demanio, il Comitato per l'Organizzazione e l'Agenzia per lo Svolgimento dei XX Giochi Olimpici Invernali Torino 2006 stipularono un Accordo Quadro e un Protocollo d'intesa per la ristrutturazione di diciannove delle venticinque palazzine dell'ex ospedale militare, diciassette delle quali da destinarsi a struttura alloggiativa atta ad accogliere oltre mille giornalisti durante l'evento olimpico, e due per assicurare una più funzionale collocazione del Centro Militare di Medicina Legale. terminate le Olimpiadi, la struttura, tornata interamente all'Esercito, ha subito ulteriori trasformazioni per dare ospitalità ai militari in servizio a Torino, in convenzione con la Facoltà di Scienze Strategiche dell'Università degli Studi, è stato creato il Campus Militare "Riberi". Il Dipartimento Militare di Medicina Legale (DMML) "Riberi" è organizzato nell'area del complesso all'angolo fra via Barletta e corso IV novembre, il poliambulatorio funzionale e la farmacia completano la struttura.

4.2 Area d'intervento

L'area oggetto di studio si trova a Torino nei pressi dello stadio Olimpico, compresa tra Corso Orbassano , Via IV Novembre , via Barletta e via Caprera. L'ingresso è situato in Corso IV Novembre, 66, 10136 Torino TO.

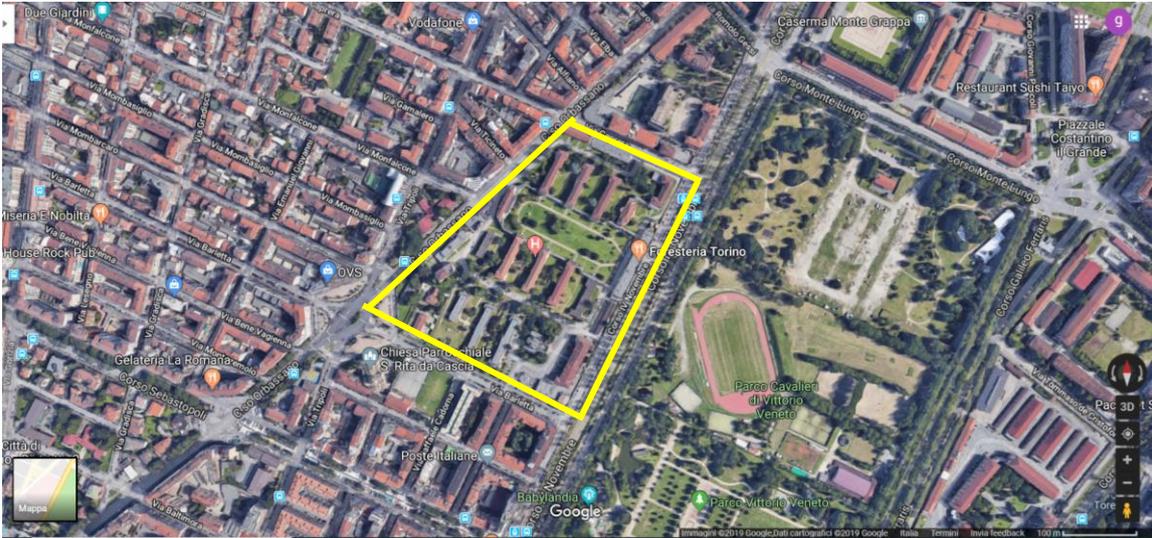


Figura 11, stralcio aerofotogrammetrico Caserma Riberi - Torino (TO) –



Figura 12 , Planimetria Caserma Riberi , Padiglione M , schema rete del Teleriscaldamento

L'area è composta da molti edifici ed ai i fini di questo studio ci si concentrerà sul Padiglione M. Il padiglione M è collegato assieme ai padiglioni ,H,I,J,N,P,L,K,T da una galleria vetrata.

Da un punto di vista impiantistico il Padiglione M assieme a quelli circostanti sono serviti da un circuito ad anello che fa capo ad una stazione di scambio, situata in alto nella planimetria, che è allacciata alla rete del Teleriscaldamento. L'acqua calda della rete viene utilizzata sia per il riscaldamento invernale , sia per fornire acqua calda sanitaria.

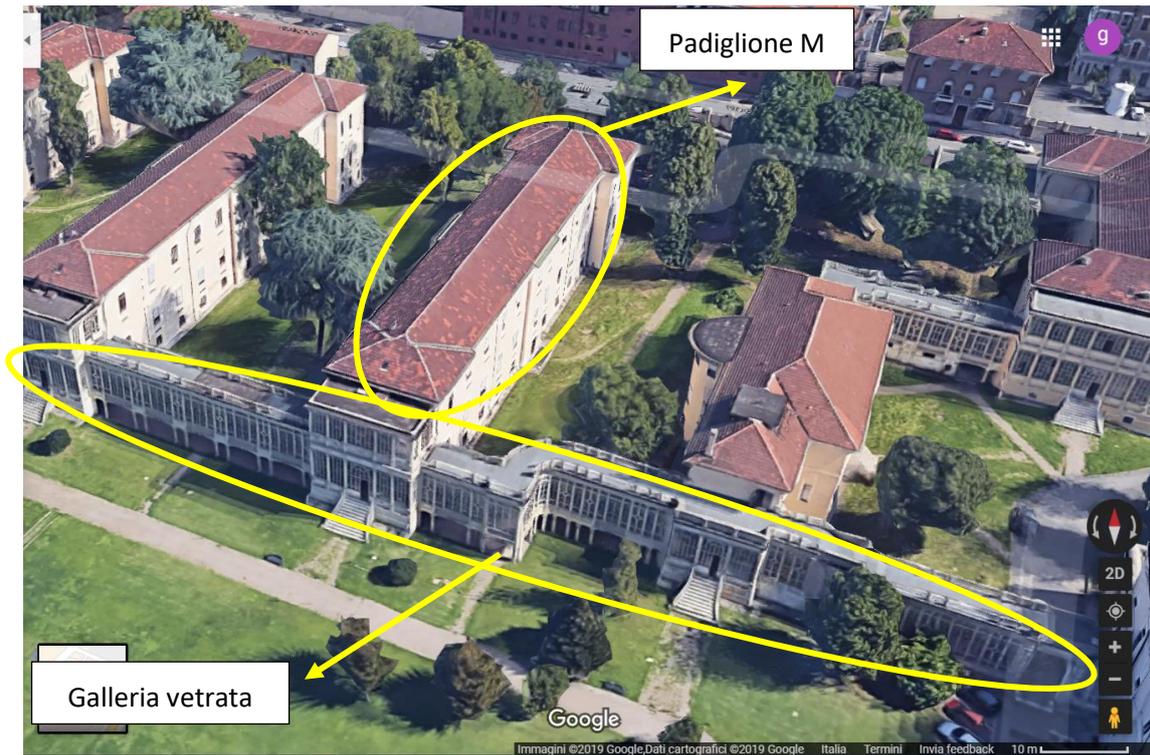


Figura 13, Padiglione M e galleria vetrata



Figura 15 vista assonometrica Padiglione M



Figura 14 vista assonometrica Padiglione M

Il padiglione M si presenta come un unico edificio di 695 m² di superficie sviluppato su tre livelli:

- Un piano semi interrato a quota - 1,2m
- Un piano rialzato a quota +2,0 m
- Primo piano a quota + 7,90m
- Sottotetto non abitabile a quota + 13,8m
- Linea di colmo a quota 16,6m

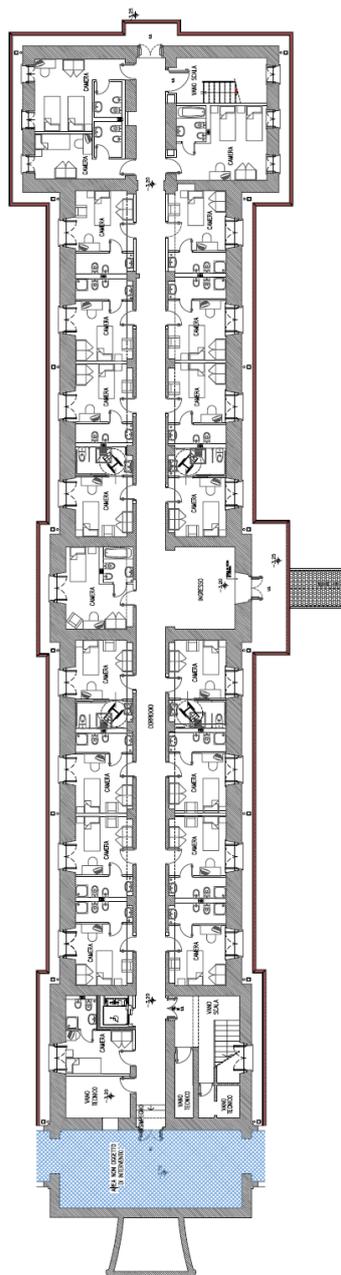


Figura 16 pianta piano semi interrato

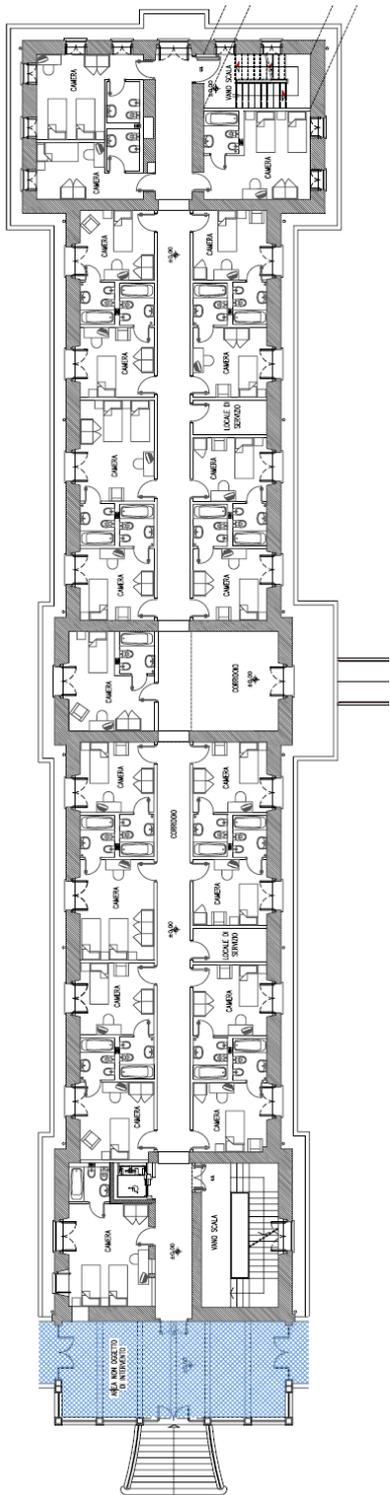


Figura 18 pianta piano rialzato

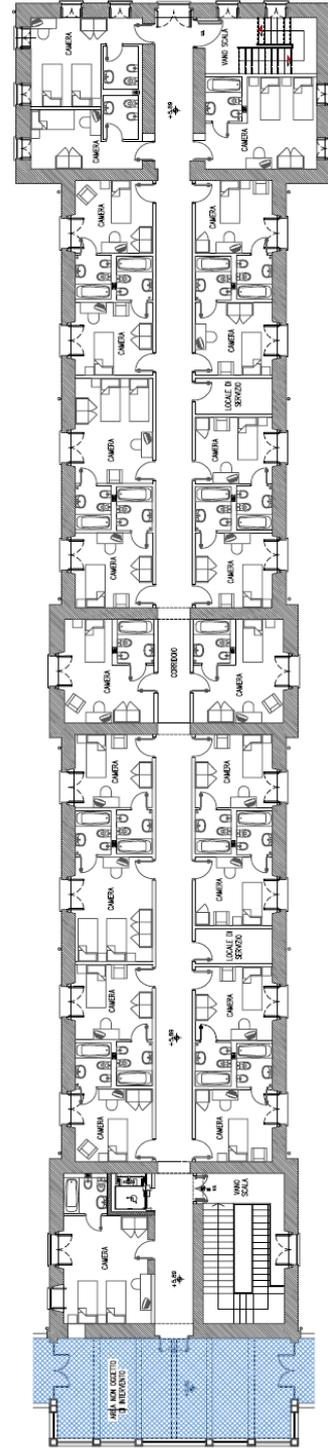


Figura 17 pianta piano primo

5. Costruzione del modello con DesignBuilder

5.1 Suddivisione in blocchi

Con il software è stato possibile definire il modello dell'edificio oggetto di studio adottando un principio gerarchico che si basa impostando innanzitutto le caratteristiche del sito e successivamente riproducendo lo spazio tridimensionale tramite l'utilizzo di "blocchi edificio".

Ogni blocco è stato suddiviso in "zone" mediante la definizione di "partizioni" ovvero delle superfici che la delimitano, ed ogni "zona" è un ambiente con diverse caratteristiche termiche dipendenti dal tipo di "attività", ed è caratterizzata da "superfici" (pavimento, soffitto, partizioni, pareti) tutte con una determinata stratigrafia, ottenuta mediante la definizione di materiali specifici. Ciascuna superficie può essere inoltre caratterizzata da aperture.

Oltre al "blocco edificio", per riuscire ad avere il più possibile rispondenza con lo stato di fatto, è stato opportuno utilizzare il "blocco componente" in modo indiretto, ovvero attraverso la "conversione" del "blocco profilo" in "blocco componente" assegnandogli successivamente il "tipo di blocco componente" e i vari parametri che seguono.

L'utilizzo indiretto del "blocco componente" ha permesso la realizzazione dei blocchi in maniera più semplice, precisa e veloce, altrimenti si sarebbero potuti avere problemi, di moderata gestione, per quanto riguarda l'adiacenza dei blocchi.

Il software mette a disposizione tre tipi di "blocco componente", con diverse caratteristiche; in questo caso è stato utilizzato il:

- "Tipo di blocco componente standard" per le ombreggiature, ovvero per definire la galleria vetrata adiacente che influenzerà i parametri di ombreggiamento per l'edificio in questione. Nel dettaglio, questo blocco non assorbe o conduce calore, ma l'unico effetto è legato alla riflessione di onde corte della radiazione solare; infatti ciò che sul programma Design Builder è rappresentato come un oggetto solido, convertito automaticamente in Energy Plus, previa selezione del parametro "riflessione di modello e ombreggiature di terreno" per gli output della simulazione, permette di includere e calcolare il fascio della radiazione solare che colpisce l'edificio. Ovviamente bisogna analizzare la distribuzione solare per valutare quale tipo di ombreggiamento il programma dovrà considerare;

- “Tipo di blocco terreno”, per definire il terreno adiacente e sottostante l’edificio, parametro necessario per definire le “partizioni contro terra”.

E’ fondamentale saper gestire bene l’utilizzo dei tre blocchi messi a disposizione dal programma, poiché ognuno di essi ha caratteristiche specifiche che bisogna man mano definire in base alle proprie esigenze, da cui dipendono i dati di output.

5.2 Il modello geometrico

All’interno del software sono state importate le piante dei 3 livelli dell’edificio in formato .dxf opportunamente realizzate a fil di ferro.

Le piante realizzate riportano il filo esterno della muratura portante esterna, l’asse dei tramezzi divisorii e l’indicazione delle aperture sia interne che esterne.

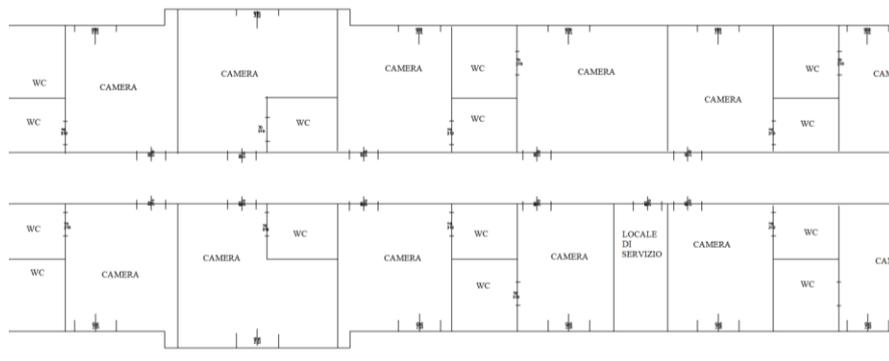


Figura 19 esempio schema fil di ferro

Lo schema a fil di ferro è stato realizzato per i motivi di funzionamento del software , in quanto quando si disegna , fa riferimento al filo esterno del muro perimetrale , all’asse della partizione ed all’intradosso del solaio.

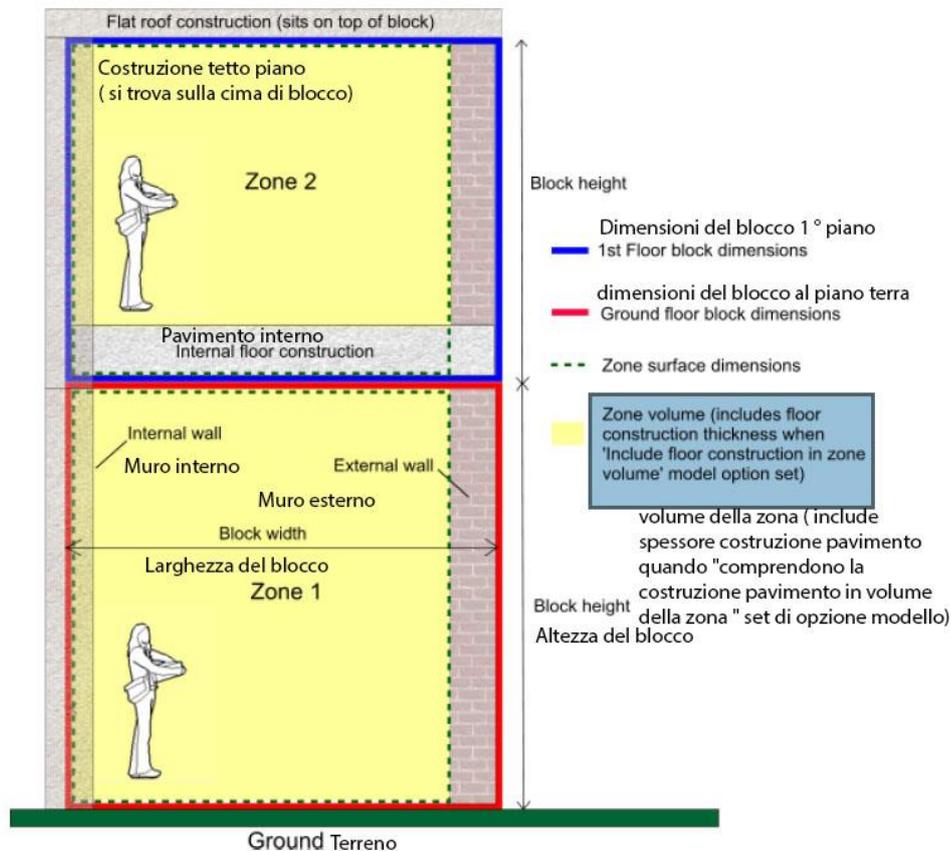


Figura 20 estratto dal manuale del software

Una volta importate le piante è stato realizzato il “blocco edificio” nominato “Caserma Riberi”. Sono stati realizzati i 3 livelli separatamente, inserendo opportunamente le mura perimetrali, i tramezzi e le aperture. Dopo di che sono stati sovrapposti a formare un unico edificio. È stato poi realizzato un blocco edificio di tipo “tetto inclinato” al fine di modellare il sottotetto non abitabile. Per quanto riguarda la galleria vetrata, la zona adiacente all’edificio in questione essendo servita dal medesimo impianto di riscaldamento è stata considerata parte integrante della modellazione.

Invece la parte di galleria che funge da collegamento tra i vari padiglioni è stata modellata come “blocco componente”. È stato poi inserito il “blocco terreno” opportunamente realizzato al fine di ricreare le reali condizioni geometriche.

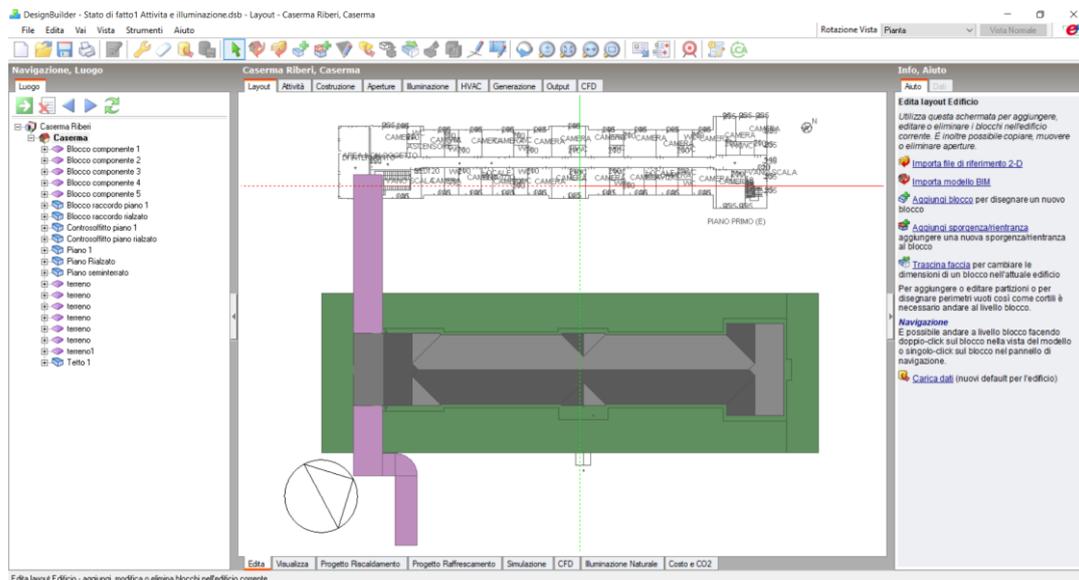


Figura 21 vista in pianta del modello geometrico, schermata del software DesignBuilder

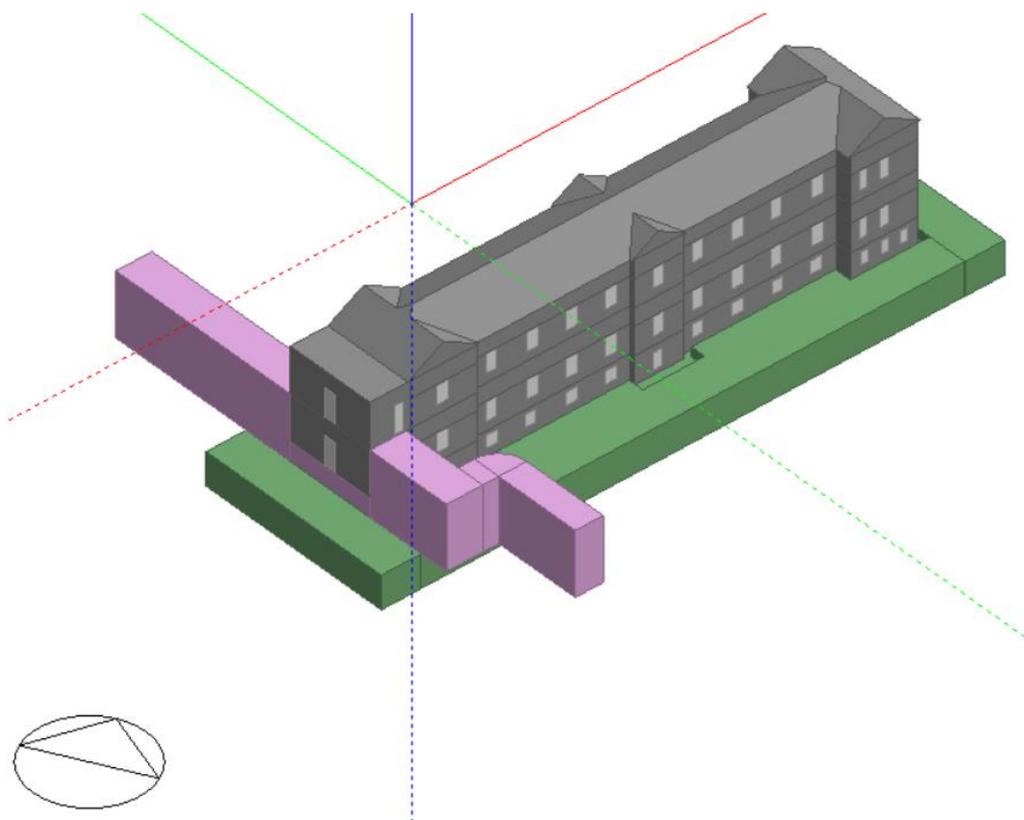


Figura 22 vista assometrica del modello

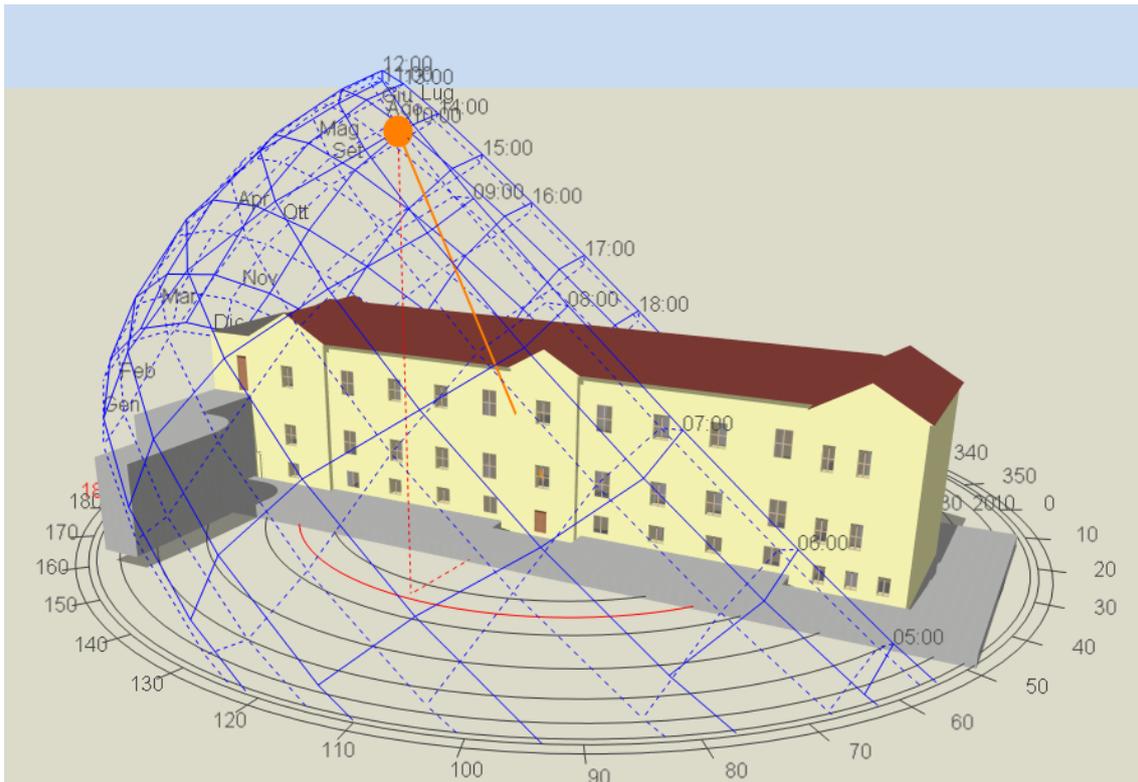


Figura 23 vista assonometrica renderizzata con diagramma solare

Essendo il piano rialzato e piano primo molto alti (5,90 m) , sono suddivisi da una controsoffittatura posta a quota 3,40m , perciò all'interno del software i blocchi dei singoli piani sono stati divisi separando il blocco della zona abitata da quello della controsoffittatura. È stato fatto così perché essendo lo spessore dello strato del controsoffitto molto ampio (circa 2,40 m) non è molto realistico ipotizzarlo come strato della stratigrafia del solaio, bensì come zona non occupata.

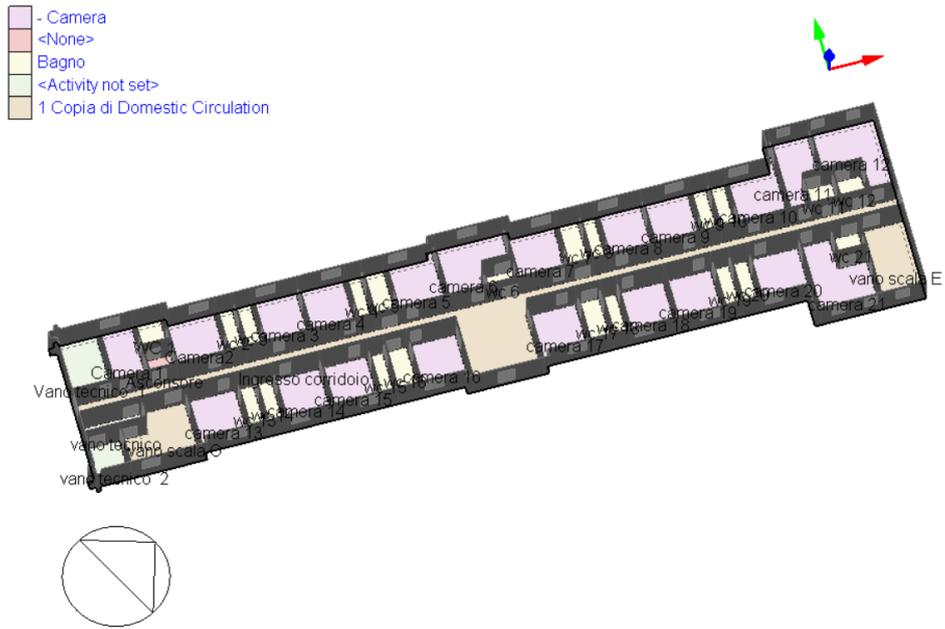


Figura 24 vista del piano seminterrato

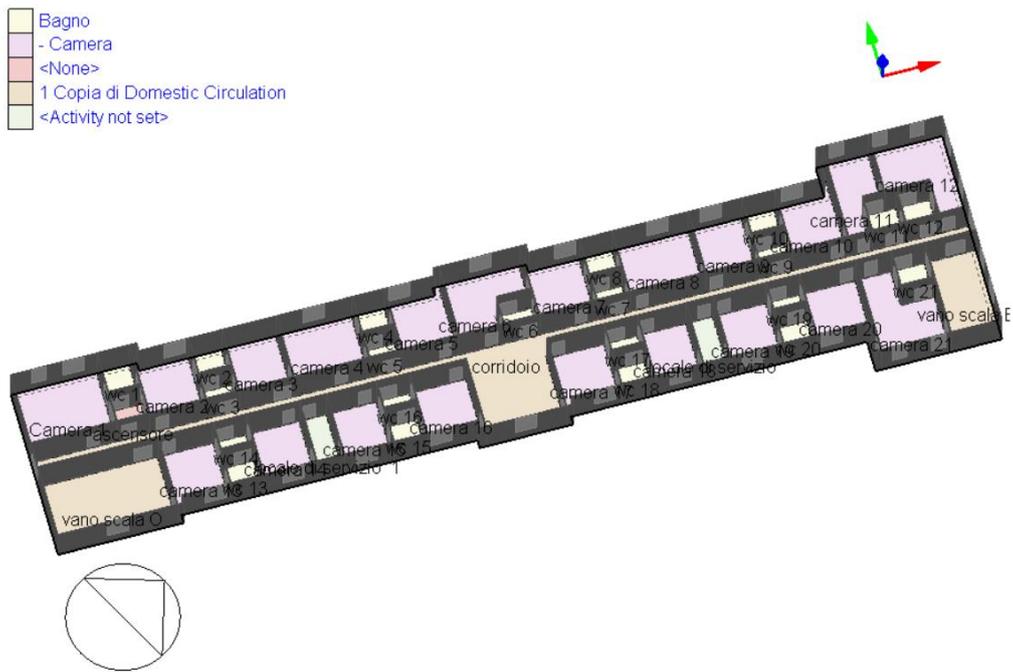


Figura 25 vista del piano rialzato e del piano primo

5.3 L'illuminazione

Per quanto concerne la sezione "illuminazione", è necessario impostare la potenza della luce necessaria nell'ambiente [W/m²], il tipo di illuminazione e le ore di funzionamento.

È importante tener presente che il programma Design Builder non è un software specifico di illuminotecnica, pertanto elabora i dati dal punto di vista termico, nel senso che tutta l'energia elettrica fornita alla lampadina, si trasforma in calore ceduto all'ambiente, ed infatti è possibile definire sia gli apporti di calore d'illuminazione convettivi che quelli radiativi.

Anche in questa sezione è possibile impostare un intervallo di funzionamento, definendo una scheda o un programma.

Non avendo una conoscenza dettagliata dei corpi illuminanti dell'edificio in esame, si è assunto un valore ragionevole di apporto termico dovuto ai corpi illuminanti medio per l'intero fabbricato pari a $7 \text{ [W/m}^2\text{]}$.

Questo al fine di cercare di riprodurre il più fedelmente possibile il reale comportamento dell'edificio nonostante la normativa in vigore consenta di non tenere conto dei consumi elettrici dovuti all'illuminazione per il calcolo del fabbisogno energetico di un edificio avente destinazione d'uso di tipo residenziale.

Sul programma Design Builder, bisogna innanzitutto creare il "template di illuminazione" il quale sarà poi attribuito alle rispettive zone o blocchi.



Figura 26 Designbuilder, impostazione del template

Una volta impostata la potenza in W/m^2 , bisogna selezionare il tipo di apparecchio illuminante:

- Sospeso;
- Applicato alla superficie;
- Incassato;
- Soffitto grigliato luminoso;
- Applicato al canale di ritorno dell'aria.

In base al tipo di apparecchio scelto, il programma definisce automaticamente la “frazione radiante” e “la frazione visibile”; la frazione convettiva non compare semplicemente perché viene dedotta per sottrazione.

Bisogna fare assolutamente attenzione ad inserire e far combaciare i valori di illuminamento in lux definiti nella sezione “illuminazione” con quelli definiti nella sezione “attività”.

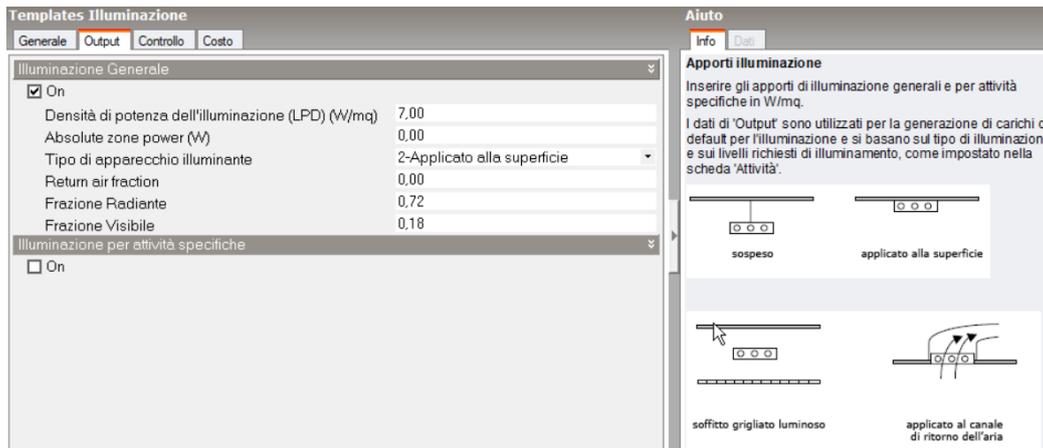


Figura 27 caratteristiche dell'apparecchio

A tal proposito nelle impostazioni si è definito l'unità apporto illuminazione “power density” in modo tale da avere in fase di output i risultati in kWh. Occorre fare attenzione perché il software consente di utilizzare anche come unità di misura in $W/m^2-100lux$.

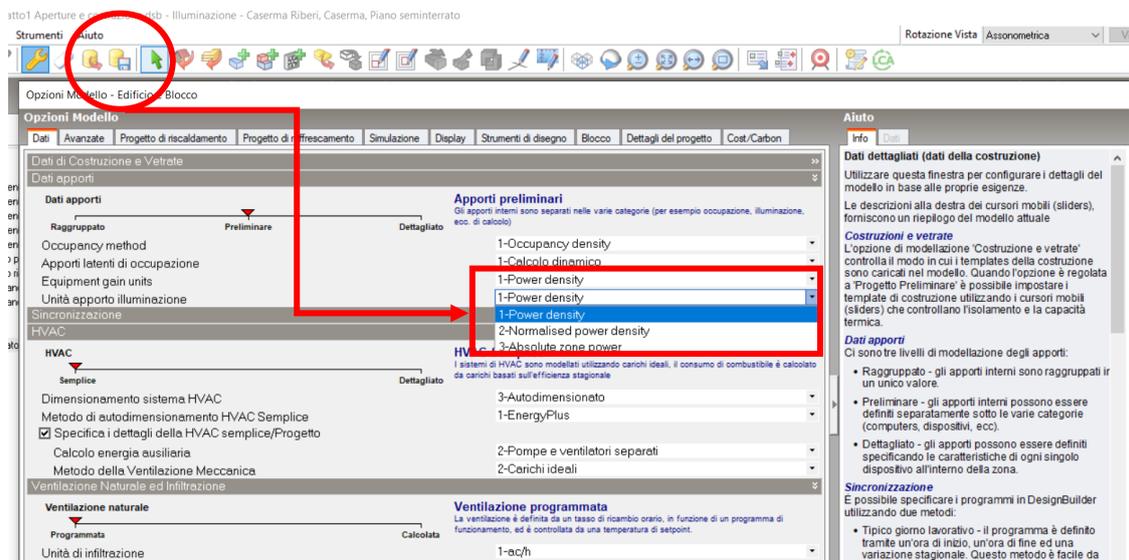


Figura 28 impostazione unità di misura per l'illuminazione

5.4 Definizione del “sito” & dati climatici

A livello “Sito”, il primo prospetto da compilare, riguarda la “Località”:

- I dati climatici del luogo di progetto vengono caricati dal programma per similitudine dai dati climatici orari dell’anno tipo, contenuti nel data base di EnergyPlus per Torino;
- Le coordinate geografiche vengono inserite automaticamente dal programma; è fondamentale inserire la zona climatica prevista dalla ASHRAE perché il programma in questo modo seleziona automaticamente delle opzioni di base riguardanti i parametri della costruzione;
- I dettagli geomorfologici del luogo vengono inseriti manualmente ed è necessario definire con precisione l’orientamento del luogo, ovvero l’angolo orario rispetto al nord e il tipo di terreno.

I dati climatici da dover utilizzare nel software da inserire in un formato particolare .epw , perciò si è proceduti inizialmente a scaricare dal sito <https://energyplus.net/weather> il file relativo a Torino.

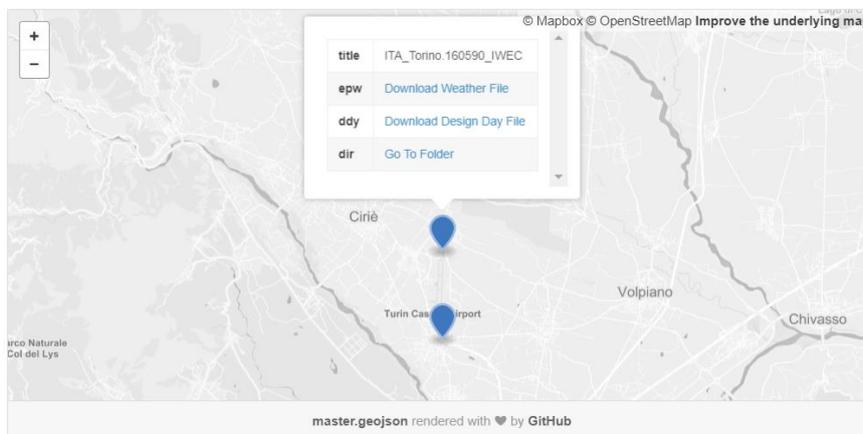


Figura 29 <https://energyplus.net/weather>, file climatico Torino - IWEC-

Una volta scaricato il file, è stato necessario modificarlo attraverso il software “Elements”, il quale fa parte del pacchetto EnergyPlus. Una volta aperto il file sono stati inseriti al suo interno i dati climatici reali forniti dall’Arpa relativi all’anno 2018 ed alla stazione meteo sita a Torino , in via della Consolata 10.

EPW DEFINITIVO.epw - Elements

File Edit Tools View Window Help

Site Name: TORINO
 Latitude [degrees]: 45.22 Longitude [degrees]: 7.65
 Time Zone: 1 Elevation [m]: 287

Tools: Offset Scale Normalize Normalize By Month

Variables to Hold Constant:

Date/Time	Dry Bulb Temperature [C]	Wet Bulb Temperature [C]	Atmospheric Pressure [kPa]	Relative Humidity %	Dew Point Temperature [C]	Global Solar [Wh/m2]	Normal Solar [Wh/m2]	Diffuse Solar [Wh/m2]	Wind Speed [m/s]
1986/01/01 @ 00:00:00	3.2	2.67	97.5	92	2.02	0	0	0	0.3
1986/01/01 @ 01:00:00	2.8	2.67	97.2	98	2.51	0	0	0	0.6
1986/01/01 @ 02:00:00	2.6	2.54	97	99	2.46	0	0	0	0.3
1986/01/01 @ 03:00:00	2.4	2.34	96.9	99	2.26	0	0	0	0.8
1986/01/01 @ 04:00:00	2.6	2.54	96.9	99	2.46	0	0	0	1.2

Figura 30 Elements, inserimento dati climatici reali - via della consolata 2018



Denominazione	TORINO VIA DELLA CONSOLATA
Località	VIA DELLA CONSOLATA 10
Comune	TORINO
Provincia	PROVINCIA DI TORINO
Regione	PIEMONTE
Quota sito (m s.l.m.)	290.00
UTM X - WGS84 (m)	395972
UTM Y - WGS84 (m)	4992235
Lat. - WGS84 (G.sess)	450433
Long. - WGS84 (G.sess)	074042
Data attivazione	2003-12-19
Sensori presenti *	HPRTV *

Figura 31 Anagrafica della stazione meteo: Torino , via della consolata

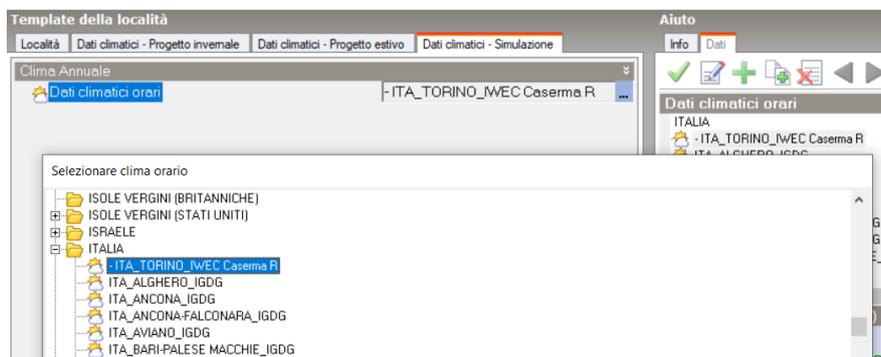


Figura 32 Inserimento dati climatici

Il file climatico così inserito sarà utilizzato dal software DesignBuilder per le simulazioni energetiche.

I dati climatici inseriti sono stati elaborati al fine di poterli visualizzare graficamente e renderci conto se sono presenti eventuali anomalie. I gradi giorno per il 2018 sono stati ricavati pari a 2366.

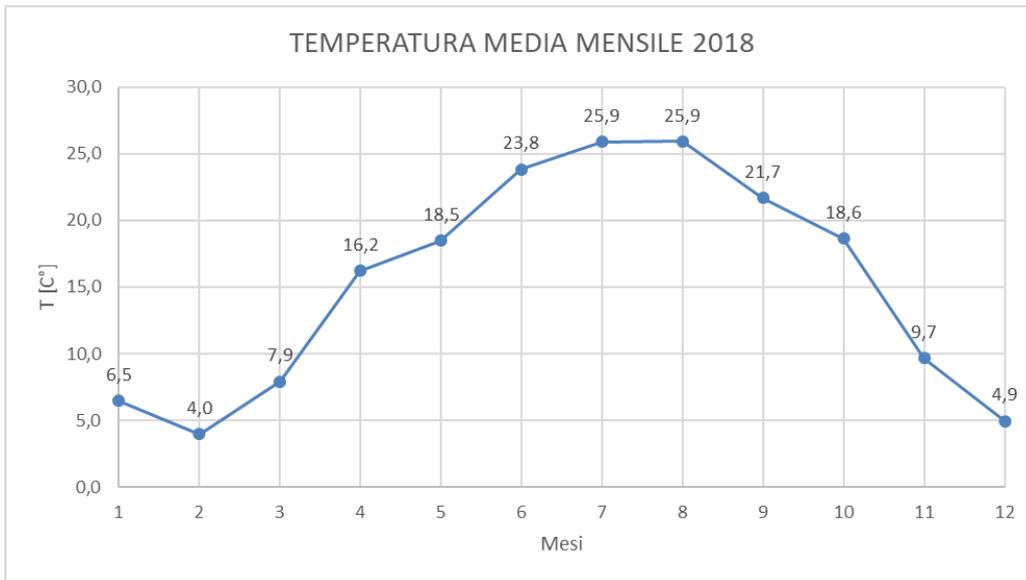


Figura 33 Andamento delle temperature medie mensili , stazione meteo via della Consolata, Torino. Anno 2018

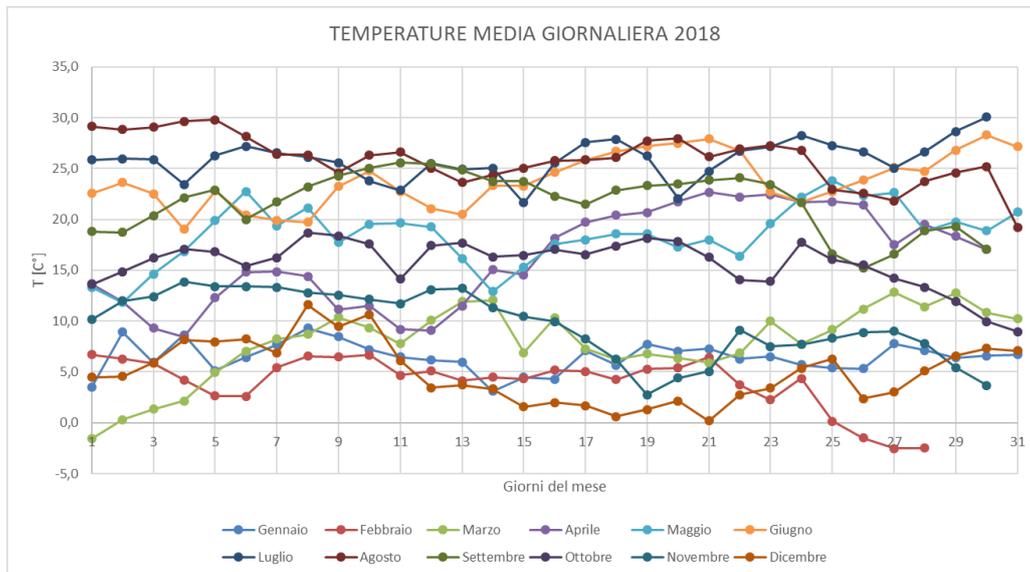


Figura 34 temp. medie giornaliere per ogni singolo mese dell'anno 2018. stazione meteo via della Consolata - Torino-

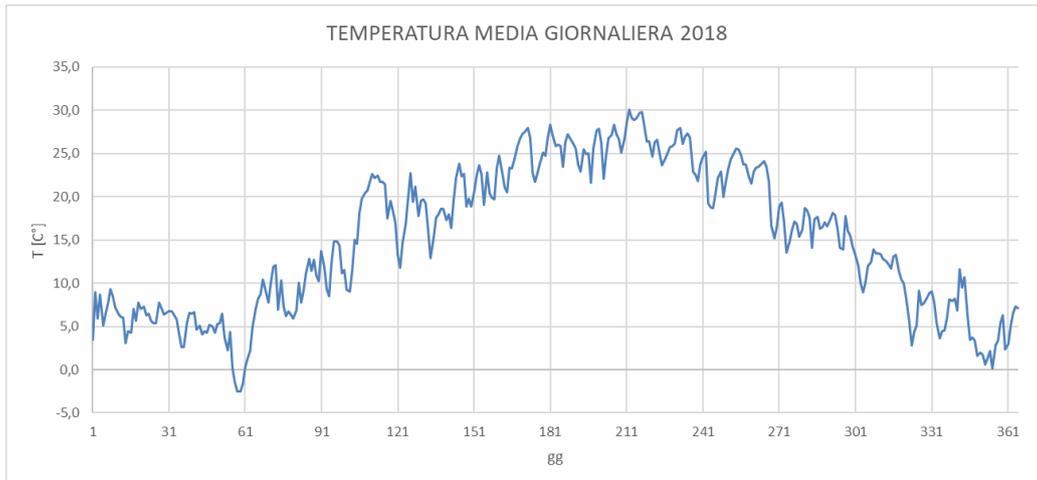


Figura 35 Andamento temperatura media giornaliera, stazione meteo via della Consolata - Torino – 2018

5.4.1 DPR 412 1993 (zona climatica e categoria)

Si ricorda per completezza che come specificato nel DPR 412 del 1993 , Torino è in zona climatica E con un numero di gradi giorno maggiore di 2100 e non superiore a 3000. Inoltre la classificazione dell'edificio rientra nella categoria E.1 edifici adibiti a residenza e assimilabili:

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

5.5 Definizione delle attività

All'interno della sezione "Attività" è stato possibile inserire il numero di persone per unità di superficie (numero di persone/m²) dividendo la superficie di una camera, ottenuta facendo una media pesata delle superfici delle singole stanze, e considerando 1 sola persona per camera). Sono stati anche definiti i periodi di occupazione (ovvero in base alle opzioni di "sincronizzazione" che bisogna impostare nelle "opzioni dei dati", Design Builder permette di specificare o il "tipico giorno lavorativo" o il "programma"). È di fondamentale importanza scegliere a priori il tipo di "sincronizzazione", poiché questa opzione è presa in considerazione dal programma per estrapolare gli output della simulazione. Nel caso in esame, si è considerato il tipico giorno lavorativo in cui i militari vanno via verso le 8:30 e rientrano verso le 17:00. Sulla base di ciò si è impostato l'orario di occupazione settimanale come dalle 17:00 alle 08:30. Inoltre per il fine settimana si considera un'occupazione dell'edificio più prolungata considerando che i militari non sono di norma in servizio. Si rimanda poi alla successiva fase di calibrazione del modello per ulteriori modifiche al fine di affinare i profili occupazionali.

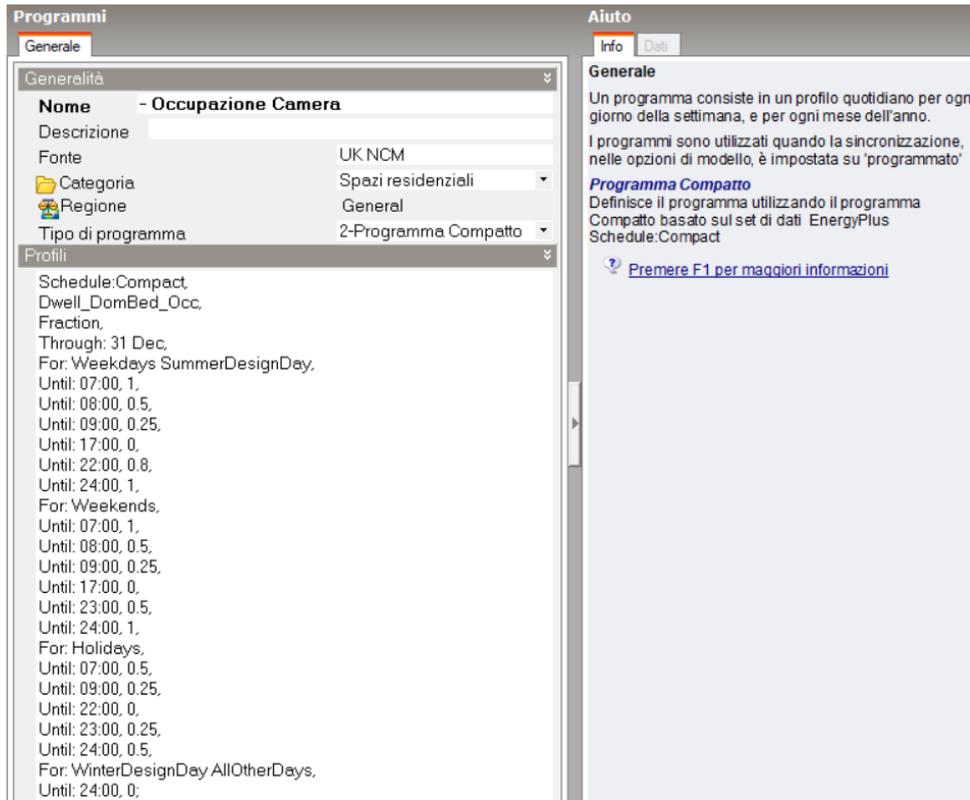


Figura 36 DesignBuilder, esempio della definizione della schedule

È stato definito anche il tasso metabolico, secondo i parametri fissati dalla ASHRAE riguardanti il tipo di attività e il fattore dei vestiti, impostando 1,00 per gli uomini, 0,85 per le donne e 0,75 per i bambini. Nel caso in esame si è impostato 1 per via della presenza di una sola tipologia di persone;

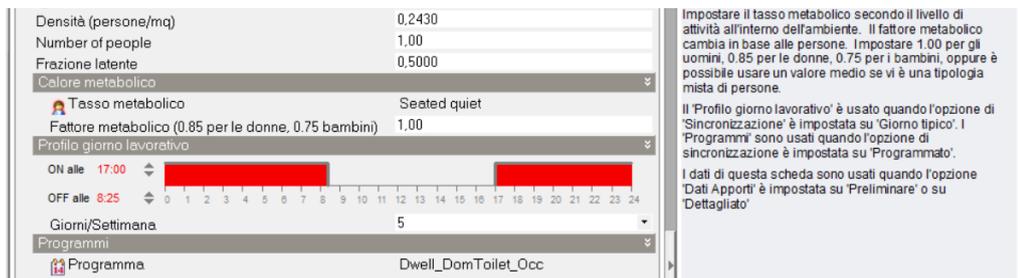


Figura 37, BAGNO, profilo giorno lavorativo, tasso metabolico, densità

Sono state inserite anche le vacanze:

Vacanze		
Generale Lista		
Nome	Data di inizio	Numero di giorni
New Years Day	1 Jan	1
Christmas Day	25 Dec	1
Boxing Day	26 Dec	1
Easter Monday	2nd Monday in April	1
Easter Sunday	1st Sunday in April	1
May Day	1st Monday in May	1
Spring Holiday	Last Monday in May	1
June Holiday	1st Monday in June	1
August Holiday	1st Monday in August	1
Late Summer Holiday	Last Monday in August	1
October Holiday	Last Monday in October	1
Good Friday	1st Friday in April	1
Post-Christmas holiday	27 Dec	5
Summer shutdown	3rd Monday in July	42

Figura 38 DesignBuilder, esempio di inserimento vacanze

Una volta definiti questi parametri ogni “Blocco” avrà diverse “Zone”, ognuna con le proprie specifiche caratteristiche.

Ad ogni modo, nel caso in esame si tratta di una diagnosi energetica volta a fotografare i reali consumi dell’edificio e quindi i dati affetti da un certo grado d’incertezza saranno affinati durante il processo iterativo della calibrazione.

5.6 La ventilazione

Come specificato al §12.3 della UNI/TS 1300-1 :

- “Ai fini della applicazione della presente specifica tecnica, per gli edifici residenziali gli estrattori dai bagni e dalle cucine con funzionamento saltuario non vengono considerati impianti di ventilazione, e quindi non si considera la relativa portata d’aria e conseguente carico termico di ventilazione.

Inoltre al §12.3.1 si dice che nel caso di edifici in cui si ha sola ventilazione naturale, la portata media effettiva coincide con la portata di ventilazione in condizioni di riferimento, calcolata mediante l’equazione:

$$q_{ve,k,mn} = q_{ve,0,k} \times f_{ve,t,k}$$

Dove:

- $q_{ve,0,k}$ è la portata minima di progetto di aria esterna espressa in m³/s.

- $f_{ve,t,k}$ fattore di correzione che rappresenta la frazione di tempo in cui si attua il flusso d'aria k-esimo e che tiene conto dell'effettivo profilo di utilizzo e delle infiltrazioni che si hanno quando non si opera l'areazione. I valori del fattore di correzione $f_{ve,t,k}$ sono riportati nel prospetto E.2 in funzione della destinazione d'uso.

Per le abitazioni civili (E.1) la portata minima di progetto di aria esterna, $q_{ve,0}$, si calcola secondo l'equazione:

$$q_{ve,0} = n \times V/3600$$

dove:

- n è il tasso di ricambio d'aria, espresso in h^{-1} ;
- V è il volume netto della zona termica considerata, espresso in m^3 , comprensivo di cucine, bagni, corridoi e locali di servizio.

L'equazione è in genere applicata anche per determinare il ricambio d'aria nei servizi igienici (locali con estrazione) indipendentemente dalla destinazione d'uso dell'edificio.

Per le abitazioni civili (E.1) la portata minima di progetto di aria esterna, $q_{ve,0}$, si calcola assumendo un tasso di ricambio d'aria di progetto pari a $0,5 h^{-1}$, così come riportato al punto D.5.1 della UNI EN 12831:2006.

prospetto E.2 Fattore di correzione per la ventilazione in condizioni di riferimento

Categoria di edificio	Sottocategoria di edificio	Destinazione d'uso	$f_{ve,t}$
E.1 Edifici adibiti a residenza e assimilabili	E.1.1 Residenze a carattere continuativo	Abitazioni civili ⁹⁾	0,60
		Collegi, luoghi di ricovero, case di pena, caserme, conventi	
		Sale riunioni	0,51
		Dormitorio/camera	1,00
		Servizi igienici con estrazione	0,08
	E.1.2 Residenze occupate saltuariamente	Vale quanto prescritto per le residenze a carattere continuativo	0,60
		Ingresso, soggiorni	1,00
	E.1.3 Alberghi pensioni e attività similari	Sale conferenze/auditori (piccoli)	0,47
		Sale da pranzo	0,34
		Camere da letto	0,26

Figura 39 estratto UNI/TS 11300-1

All'interno del software è possibile inserire la ventilazione in vari modi. Nel caso in esame si è deciso di inserire ed accoppiare la ventilazione e le infiltrazioni andando ad inserire un unico valore totale. In particolare, all'interno della sezione "infiltrazioni" si è inserito il valore massimo di $0,3 \text{ vol/h}$ come previsto da normativa nel caso di calcolo in regime quasi-stazionario, andando

poi però a definire una schedule specifica che tenga conto del profilo occupazionale dell'edificio. Si inserisce come valore di picco $0,5 \times 0,6 = 0,3$ vol/h.



Figura 40 DesignBuilder, infiltrazioni e ventilazione

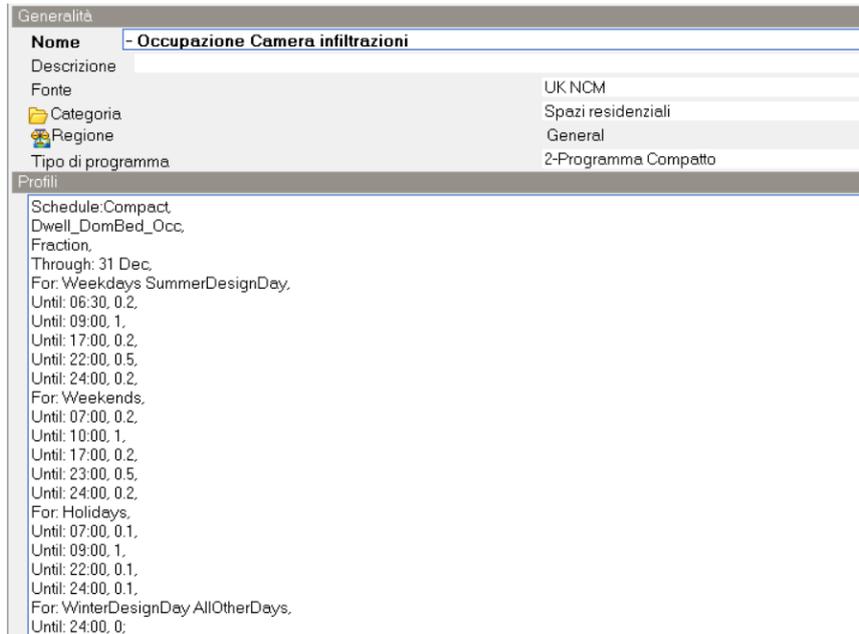


Figura 41 schedule infiltrazioni e ventilazione

5.7 Definizione delle Aperture

Il livello "Aperture" permette di definire i materiali, le dimensioni e il valore della trasmittanza termica degli elementi vetrati e dei telai. Il programma permette di definire le caratteristiche delle vetrate e dei telai o inserendo i singoli strati che le compongono, oppure inserendo i valori della trasmittanza, della trasmissione luminosa e del fattore solare.

Secondo le prescrizioni previste dalla UNI EN ISO 10077-1 è stato possibile individuare i valori della trasmittanza termica della vetrata U_g e la trasmittanza termica del telaio U_f .

Table C.2 — Thermal transmittance of double and triple glazing filled with different gases for vertical glazing

Glazing				Thermal transmittance for different types of gas space ^a				
Type	Glass	Normal emissivity	Dimensions mm	Air	Argon	Krypton	SF ₆ ^b	Xenon
Double glazing	Uncoated glass (normal glass)	0,89	4-6-4	3,3	3,0	2,8	3,0	2,6
			4-8-4	3,1	2,9	2,7	3,1	2,6
			4-12-4	2,8	2,7	2,6	3,1	2,6
			4-16-4	2,7	2,6	2,6	3,1	2,6
			4-20-4	2,7	2,6	2,6	3,1	2,6
	One pane coated glass	≤ 0,2	4-6-4	2,7	2,3	1,9	2,3	1,6
			4-8-4	2,4	2,1	1,7	2,4	1,6
			4-12-4	2,0	1,8	1,6	2,4	1,6
			4-16-4	1,8	1,6	1,6	2,5	1,6
			4-20-4	1,8	1,7	1,6	2,5	1,7
	One pane coated glass	≤ 0,15	4-6-4	2,6	2,3	1,8	2,2	1,5
			4-8-4	2,3	2,0	1,6	2,3	1,4
			4-12-4	1,9	1,6	1,5	2,3	1,5
			4-16-4	1,7	1,5	1,5	2,4	1,5

Figura 42 Estratto dalla UNI EN ISO 10077, U_g

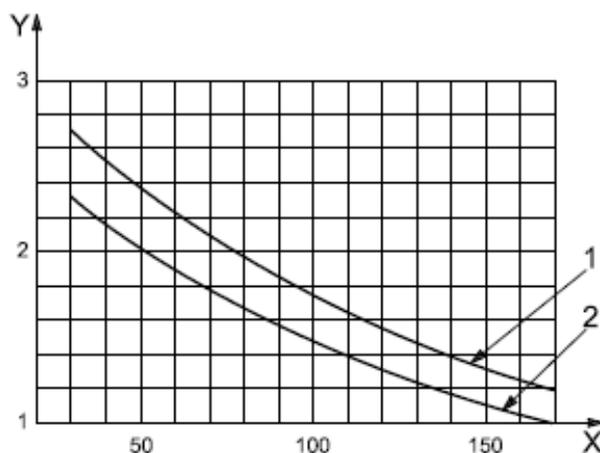


Figura 43 Estratto UNI EN ISO 10077, U_f telaio in legno

Nel grafico sopra riportato:

- X è lo spessore del telaio in mm
- Y è la trasmittanza del telaio U_f in W/(m²K)
- 1 per il legno denso con ρ= 700 kg/m³ , λ=0,18 W/(m K)
- 2 per il legno meno denso con ρ= 500 kg/m³ , λ=0,13 W/(m K)

In assenza dei dati forniti dal produttore, per l'individuazione della percentuale rappresentante il valore della trasmissione luminosa (τ) è stato fatto riferimento alla UNI EN 15193; per il valore del fattore solare (g), ovvero del rapporto tra l'energia termica globalmente trasmessa dalle lastre e quella incidente su di essa, è stato necessario far riferimento alla UNI EN 410 "Vetro per l'edilizia- Determinazione delle caratteristiche luminose e solari delle vetrate".

Tipo di vetro	τ
Doppio vetro normale	0,82

Tabella 1 Valore della trasmissione luminosa dei vetri , norma UNI EN 15193

Tipo di vetro	g
Doppio vetro normale	0,75

Tabella 2 . Valore del fattore solare dei vetri, norma UNI EN 410

Nello specifico, il fattore solare assume valori estremi, 0 per una parete perfettamente opaca e valore 1 per un vetro perfettamente trasparente o in assenza di elementi. Questo fattore è direttamente proporzionale alla trasmissione luminosa, pertanto maggiore è la trasmissione luminosa, maggiore è la quantità di energia radiante che attraversa il vetro, aumentando il fenomeno del surriscaldamento.

I vetri in commercio che prevedono il parametro del fattore solare compreso tra 0,65 e 0,80, consentono di garantire sia il corretto passaggio della luce naturale per l'illuminazione degli ambienti, e sia la protezione della radiazione solare.

È stato poi calcolato il valore della trasmittanza termica del serramento, ottenuta dalla seguente formula, corrispondente alla media pesata della trasmittanza termica della vetrata e del telaio:

$$U_w = \frac{A_g * U_g + A_f * U_f + l_g * \psi_g}{A_w}$$

Dove:

- A_g è l'area della vetrata;
- U_g è la trasmittanza termica riferita all'area centrale della vetrata e non include l'effetto del distanziatore del vetro lungo il bordo della vetrata stessa;
- A_f è l'area del telaio;
- U_f è il valore della trasmittanza termica del telaio
- l_g è la lunghezza del perimetro del vetro;
- ψ_g è il valore della trasmittanza termica lineare concernente la conduzione di calore supplementare che avviene a causa dell'interazione tra telaio, vetri e distanziatore dei

vetri in funzione delle proprietà termiche di ognuno di questi componenti e si rileva, secondo quanto precisato nella norma UNI EN ISO 10077-1, preferibilmente con il calcolo numerico eseguito in accordo con la norma UNI EN ISO 10077-2; quando non siano disponibili i risultati di calcolo dettagliati, ci si può riferire ai prospetti E.1 ed E.2 della suddetta norma, i quali indicano i valori Ψ_g di default per le tipiche combinazioni di telai, vetri e distanziatori.

Frame type	Linear thermal transmittance for different types of glazing with improved thermal performance	
	Ψ_g	
	Double or triple glazing uncoated glass air- or gas-filled	Double ^a or triple ^b glazing low emissivity glass air- or gas-filled
Wood or PVC	0,05	0,06
Metal with a thermal break	0,06	0,08
Metal without a thermal break	0,01	0,04
^a One pane coated for double glazed. ^b Two panes coated for triple glazed.		

Figura 44 estratto dalla Norma UNI EN ISO 10077, valori di ψ

In assenza di dati specifici è possibile determinare il valore di trasmittanza termica del serramento grazie ad apposite tabelle presenti nella Norma UNI EN ISO 10077 , in cui viene fornito il suddetto valore in funzione della trasmittanza della parte vetrata e di quella del telaio. Le tabelle presenti si riferiscono ad una percentuale di telaio del 20% e del 30% , distinguendo inoltre in base a 2 tipologie di distanziatori.

Nel programma Design Builder, si è proceduto pertanto alla definizione innanzitutto dei tipi di vetro e dei telai, con tutte le relative caratteristiche per definire successivamente i template rappresentanti i tipi di infissi presenti. Sono state poi definite nella sezione “*Layout*” le aperture con le loro diverse dimensioni ed assegnati i rispettivi template creati.

Si riporta di seguito, la definizione del “template” :

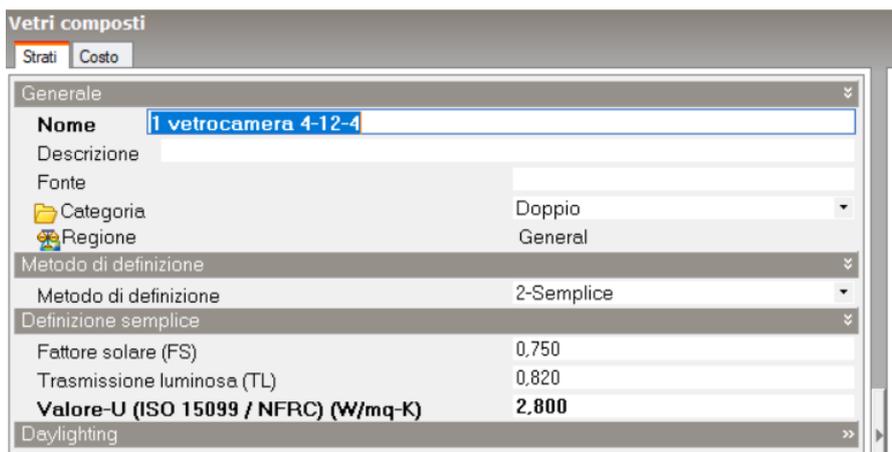


Figura 45 DesignBuilder, scheda "Aperture" definizione delle caratteristiche del vetro

Strati	Proprietà della superficie	Immagine	Calcolato	Costo	Analisi di condensatione
Superficie più interna					
	Coefficiente convettivo di scambio di calore (W/mq-K)		2,152		
	Coefficiente radiativo di scambio di calore (W/mq-K)		5,540		
	Resistenza di superficie (mq-K/W)		0,130		
Superficie più esterna					
	Coefficiente convettivo di scambio di calore (W/mq-K)		19,870		
	Coefficiente radiativo di scambio di calore (W/mq-K)		5,130		
	Resistenza di superficie (mq-K/W)		0,040		
Nessuno strato termicamente eterogeneo					
	Valore-U da superficie a superficie (W/mq-K)		2,931		
	Valore-R (mq-K/W)		0,511		
	Valore-U (W/mq-K)		1,956		
Con strato termicamente eterogeneo (BS EN ISO 6946)					
	Spessore muro (m)		0,0580		
	Cm - Capacità Termica interna (KJ/mq-K)		39,9620		
	Limite di resistenza superiore (mq-K/W)		0,511		
	Limite di resistenza inferiore (mq-K/W)		0,511		
	Valore-U da superficie a superficie (W/mq-K)		2,931		
	Valore-R (mq-K/W)		0,511		
	Valore-U (W/mq-K)		1,956		

Figura 46 Design Builder, scheda "Aperture" dati del telaio

Tipi di facciate	
Generale	Aperture
Vetrata	
Layout	4-Altezza e larghezza fissate
Vetrata (%)	80,00
Larghezza preferita della finestra (m)	1,400
Altezza preferita della finestra (m)	2,350
Altezza davanzale (m)	0,900
Spaziatura finestra (m)	0,100
Distanza bocchette di ventilazione (m)	0,100
Telaio	
<input checked="" type="checkbox"/> Telaio	
Numero divisori orizzontali	1
Numero divisori verticali	1
Larghezza telaio (m)	0,058
Larghezza divisorio (m)	0,116

Figura 47 . Design Builder, scheda "Aperture" dati geometrici serramento

Tipo	A f [m ²]	A g [m ²]	Ug [W/m ² K]	Uf [W/m ² K]	Ψ [W/mK]	U w, corr [W/m ² K]	Quantità	A tot [m ²]
F1	0,45	0,96	2,8	1,8	0,05	2,65	6	8,55
F2	0,69	1,53	2,8	1,8	0,05	2,19	20	44,65
F3	0,51	1,58	2,8	1,8	0,05	2,83	19	39,9
F4	0,80	2,48	2,8	1,8	0,05	2,22	2	6,58
Fr4	0,80	2,48	2,8	1,8	0,05	2,22	40	131,6

Tabella 3 dati riepilogativi dei serramenti

5.8 Definizione della sezione “Costruzioni”

Per la determinazione della scheda “Costruzioni”, è necessario creare un “*Template delle costruzioni*”, che permetterà di definire le stratigrafie che caratterizzano l’edificio, creando i materiali necessari, gli spessori e definendone le relative proprietà fisiche, ovvero la conducibilità [W/m K], la densità [kg/m³] e il calore specifico [J/kg K]. Design Builder calcola la resistenza superficiale [m²K/W], la capacità termica [J/K], la trasmittanza [W/m²K] e la resistenza termica [m²K/W] della stratigrafia creata. Questa funzione, contiene dunque le caratteristiche costruttive dei vari elementi: le pareti esterne, le pareti divisorie, i pavimenti, i soffitti, le coperture ecc..

Un ulteriore parametro che si può definire in questa sezione è la permeabilità all’aria dell’involucro. Ci si riferisce quindi alla ventilazione non controllata che penetra all’interno del fabbricato edilizio, attraverso le fessure e le imperfette giunzioni tra i vari componenti. In generale, in assenza di dati specifici è possibile assumere un valore dal prospetto 9 della NORMA UNI/TS 11300-1.

Permeabilità dell’involucro ^{a)}	Tasso di ricambio d’aria a 50 Pa n_{50} [h ⁻¹]	
	Edificio residenziale multifamiliare o altra destinazione d’uso	Edificio residenziale monofamiliare
Bassa	1	2
Media	4	7
Alta	8	14

a) In assenza di informazioni sulla permeabilità dei serramenti in riferimento alla normativa tecnica vigente (UNI EN 12207) si assume “permeabilità media”.

Figura 48 Estratto UNI/TS 11300

Per simulare le condizioni reali, si sarebbe dovuto ricorrere al “*Blower Door Test*”, ricavando in questo modo le “perdite d’aria” dell’involucro edilizio e il tasso di ricambio dell’aria. Come già anticipato al paragrafo sulla ventilazione , si è inserito il valore di 0,3 vol/h all’interno della sezione infiltrazioni specificando una schedule che tenga conto del profilo occupazionale. Infatti il software considera il template oppure il valore inserito sotto la voce infiltrazione a seconda dell’impostazione, così come specificato nell’immagine seguente.

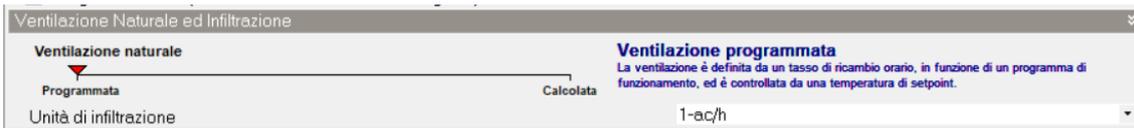


Figura 49 impostazione della ventilazione su "programmata"

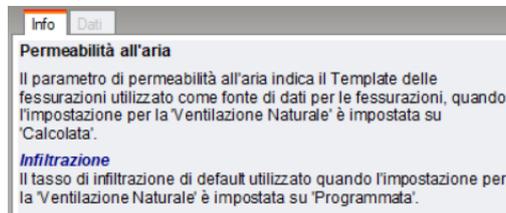


Figura 50 info sulla modalità di lettura del valore delle infiltrazioni da parte del software

5.8.1 Stratigrafie dell’involucro

Per definire la stratigrafia dei pacchetti strutturali dell’edificio in esame su Design Builder, è necessario definire principalmente le caratteristiche fisiche dei materiali che la costituiscono.

Il software offre una vasta gamma di materiali di default, che è anche possibile modificare inserendo nuovi materiali con caratteristiche definite. Vediamo come esempio di seguito l’inserimento delle proprietà dell’intonaco.

Materiali Dati

Generale | Proprietà della superficie | Tetto verde | Carbonio incorporato | Cambiamento di fase | Costo

Generale

Nome Intonaco UNI 10351

Descrizione

Fonte

Categoria Intonaci

Regione General

Spessore Strato di Materiale

Spessore forza

Proprietà Termiche

Proprietà dettagliate

Proprietà termo fisiche del materiale

Conducibilità (W/m-K) 0,350

Calore specifico (J/kg-K) 1000,00

Densità (kg/mc) 1200,00

Resistenza (valore-R)

Resistenza alla Diffusione del Vapore

Definizione resistenza alla diffusione del vapore 2-Resistività

Resistività alla diffusione del vapore (MNs/g) 40

Figura 51 DesignBuilder, definizione proprietà dell'intonaco secondo UNI 10351

Materiali

Generale | Proprietà della superficie | Tetto verde | Carbonio incorporato | Cambiamento di fase | Costo

Proprietà della superficie

Assorbanza termica (emissività) 0,9000000

Assorbanza solare 0,700

Assorbanza visibile 0,700

Rugosità 4-Liscio

Colore

Figura 52 Design Builder, definizione delle "proprietà della superficie" dell'intonaco

Dopo la scelta e la creazione dei materiali che compongono i singoli strati necessari è possibile definire le varie stratigrafie. Di seguito si riepilogano i dati delle stratigrafie utilizzate.

Tipo	Immagine	Proprietà	Valore
Muratura esterna		U [W/m ² K]	0,95
		Cm - (capacità termica interna) [KJ/m ² K]	155
		Spessore [m]	0,93

n° strato	STRATI (dall'esterno verso l'interno)		PROPRIETÀ	VALORE
1	Finitura Intonaco liscio s = 1,5 cm		Conducibilità [W/m K]	0,35
			Calore specifico [J/kg K]	1000
			Densità [kg/m ³]	1200
2	Strato di blocchi di mattoni e collante tipo malta cementizia s = 30 cm		Conducibilità [W/m K]	1,10
			Calore specifico [J/kg K]	840
			Densità [kg/m ³]	1920
3	Materiale eterogeneo di riempimento s = 30 cm	Inerti (argilla alluvionale e sabbia 40%)	Conducibilità [W/m K]	1,21
			Calore specifico [J/kg K]	840
			Densità [kg/m ³]	1960
	(inerti e malta cementizia)	Collante malta cementizia (percentuale 50%)	Conducibilità [W/m K]	0,88
			Calore specifico [J/kg K]	896
			Densità [kg/m ³]	2800
4	Strato di blocchi di mattoni e collante tipo malta cementizia s = 30 cm		Conducibilità [W/m K]	1,10
			Calore specifico [J/kg K]	840
			Densità [kg/m ³]	1920
5	Finitura Intonaco liscio s = 1,5 cm		Conducibilità [W/m K]	0,35
			Calore specifico [J/kg K]	1000
			Densità [kg/m ³]	1200

Tipo	Immagine	Proprietà	Valore
Tetto a falde		U [W/m ² K]	1,45
		Cm - (capacità termica interna) [KJ/m ² K]	22,5
		Spessore [m]	0,09

n° strato	STRATI (dall'esterno verso l'interno)	PROPRIETÀ	VALORE
1	Tegole marsigliesi rosse di copertura s = 4 cm	Conducibilità [W/m K]	0,8
		Calore specifico [J/kg K]	840
		Densità [kg/ m ³]	1700
2	Solaio con orditura in legno e tavolato perlinato s = 5 cm	Conducibilità [W/m K]	0,1
		Calore specifico [J/kg K]	1000
		Densità [kg/ m ³]	500

Tipo	Immagine	Proprietà	Valore
Pavimento del sottotetto		U [W/m ² K]	0,5
		Cm - (capacità termica interna) [KJ/m ² K]	240
		Spessore [m]	2,26

n° strato	STRATI (dall'esterno verso l'interno)		PROPRIETÀ	VALORE
1	Pannello di cartongesso del controsoffitto s = 1,25 cm		Conducibilità [W/m K]	0,21
			Calore specifico [J/kg K]	1000
			Densità [kg/ m ³]	900
2	Isolante in fibra di lana s = 5,2 cm		Conducibilità [W/m K]	0,036
			Calore specifico [J/kg K]	710
			Densità [kg/ m ³]	24
3	Strato d'aria tra controsoffitto e solaio s = 200 cm		Resistenza R [m ² K/W]	0,09
4	Materiale eterogeneo solaio con travetti e laterizio di alleggerimento s = 15 cm	Calcestruzzo armato	Conducibilità [W/m K]	2,5
			Calore specifico [J/kg K]	1000
			Densità [kg/m ³]	2400
		Blocchi laterizio alleggerimento (60%)	Resistenza R [m ² K/W]	0,31
5	Soletta in calcestruzzo armato s = 5 cm		Conducibilità [W/m K]	2,5
			Calore specifico [J/kg K]	1000
			Densità [kg/m ³]	2400

Tipo	Immagine	Proprietà	Valore
Pavimento contro- terra		U [W/m ² K]	1,4
		Cm - (capacità termica interna) [KJ/m ² K]	138
		Spessore [m]	0,88

n° strato	STRATI (dall'esterno verso l'interno)		PROPRIETÀ	VALORE
1	Calcestruzzo armato s = 30 cm		Conducibilità [W/m K]	2,5
			Calore specifico [J/kg K]	1000
			Densità [kg/m ³]	2400
2	Pavimentazione in ceramica s = 1,5 cm		Conducibilità [W/m K]	0,8
			Calore specifico [J/kg K]	850
			Densità [kg/m ³]	1700
3	Vespaio ventilato con iglu modellato con un "link body e strato d'aria" s = 40 cm	Iglu "Link body"	Conducibilità [W/m K]	0,1
			Calore specifico [J/kg K]	840
			Densità [kg/ m ³]	12
	Strato d'aria ventilata (80%)	Resistenza R [m ² K/W]	0,09	
4	Soletta in calcestruzzo s = 15 cm		Conducibilità [W/m K]	1,4
			Calore specifico [J/kg K]	650
			Densità [kg/ m ³]	2100

n° strato	STRATI (dall'esterno verso l'interno)	PROPRIETÀ	VALORE
5	Pavimentazione in ceramica s = 2 cm	Conducibilità [W/m K]	0,8
		Calore specifico [J/kg K]	850
		Densità [kg/ m ³]	1700

5.8.2 Diagramma di Glaser

Per quanto riguarda l'analisi di condensa, Design Builder permette di generare dei report sulla presenza di condensa interstiziale e superficiale, in base alla Norma ISO 13788 "Prestazione igrotermica dei componenti e degli elementi per edilizia; Temperatura superficiale interna per evitare l'umidità superficiale critica e condensazione interstiziale; Metodo di calcolo."

Da un punto di vista legislativo, le verifiche termo-igrometriche, erano regolate dal DPR 59 il quale prevedeva due cose fondamentali:

- Assenza di condensazione superficiale
- Controllo condensazione interstiziale (ammessa ma evaporabile nell'arco di un anno)

Ora però , con il DM 26/06/2015 sui requisiti minimi le cose cambiano ed in particolare si prescrive che vengano soddisfatti i seguenti requisiti:

- Assenza del rischio di formazione di muffa con particolare attenzione ai ponti termici negli edifici nuovi (cambia quindi il requisito sulla parte superficiale dell'involucro)
- Assenza di condensazione interstiziale

Anche da un punto di vista delle condizioni interne da utilizzare per le verifiche le cose sono cambiate, infatti il DPR 59 prescriveva:

- condizioni fisse , $T_i=20\text{ °C}$; U.R.: 65%

Mentre con il DM 26/06/2015 si fa riferimento alla norma quadro UNI EN ISO 13788, la quale definisce delle:

- classi di umidità alle quali corrispondono delle condizioni variabili su base mensile per ogni località e destinazione d'uso dell'edificio.

Classi di umidità interna *****)

Classe di umidità	Edificio
1	Edifici non occupati, magazzini per stoccaggio di materiale secco
2	Uffici, alloggi con indice normale di affollamento e ventilazione
3	Edifici con indice di affollamento non noto
4	Palestre, cucine, mense
5	Edifici particolari, per esempio lavanderie, distillerie, piscine

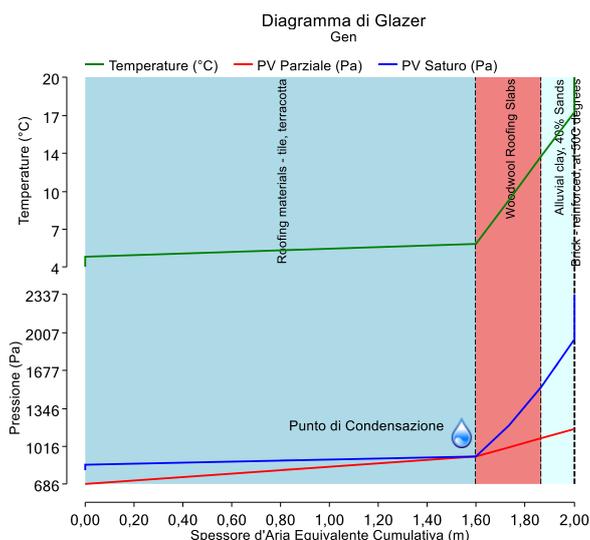
Figura 53 Normativa ISO 13788 , classi di umidità

Si nota che la norma ISO 13788 per il calcolo della condensa interstiziale utilizza un calcolo stazionario e semplificato , perciò porta a sovradimensionare il rischio di condensazione interstiziale. Quindi verificare la totale assenza di condensa interstiziale può risultare difficile.

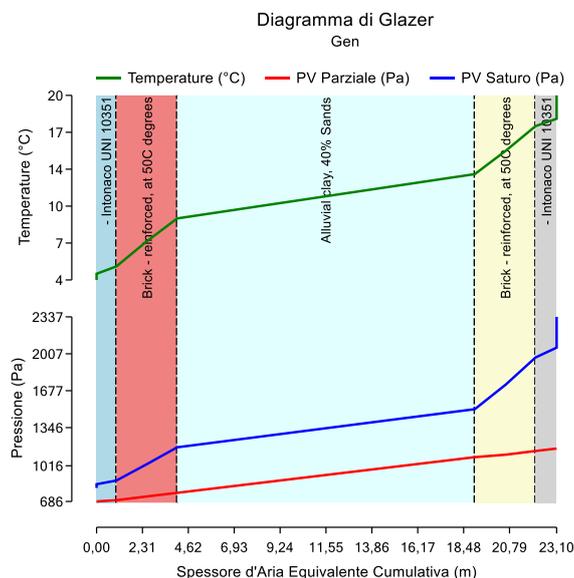
La stessa norma 13788 dice che se non è soddisfatto il requisito della totale assenza di condensa interstiziale può essere utilizzato un metodo più accurato che ne dimostri l' idoneità. Esiste infatti la norma UNI EN ISO 15026 che riporta un metodo di calcolo che tiene conto della migrazione del vapore in regime dinamico.

In questo caso, i risultati dell' analisi, sono stati ottenuti considerando il caso del mese peggiore e considerando una classe di umidità pari a 2 , che riguarda proprio gli edifici come uffici e alloggi con normale indice di affollamento.

Si riportano di seguito i report dell' analisi di condensa ottenuti dal programma, in cui si nota dal diagramma di Glaser la presenza di fenomeni di condensazione interstiziale nel tetto a falde. Ma tutta la condensa si prevede evapori nei mesi estivi



E' da notare che nel diagramma di Glaser, gli spessori degli strati non sono proporzionali a quelli reali, ma essi sono graficizzati facendo riferimento allo spessore equivalente, ottenuto dalla moltiplicazione tra lo spessore di ogni strato per la corrispondente resistenza al vapore, che corrisponde all'inverso della permeabilità al vapore del materiale stesso.



Se si presenta la formazione della condensa interstiziale è perché la pressione di vapore dell'aria, in un punto specifico all'interno della stratigrafia del componente edilizio, è superiore alla pressione di saturazione dell'aria umida nello stesso punto; più precisamente, la condensa interstiziale si forma quando l'andamento della pressione di vapore interseca l'andamento della pressione di saturazione. Il problema della condensazione interstiziale, rappresenta un rischio sotto un duplice aspetto, ovvero quello legato alla salubrità degli ambienti e quello legato alla conservazione delle strutture.

influenzeranno positivamente sull'eliminazione della condensa interstiziale all'interno delle strutture definenti l'edificio.

5.9 Definizione della sezione HVAC

L'acronimo HVAC indica tutti quei sistemi che si occupano di riscaldamento (Heating), ventilazione (Ventilation) e condizionamento dell'aria nelle zone (Air Conditioning).

Per l'impostazione dell' "HVAC" sul programma DesignBuilder, si può scegliere come "opzione di modello" quella "semplice" oppure quella "dettagliata" e di fissare un programma orario specifico di accensione e spegnimento del riscaldamento.

Inizialmente è stato definito l'impianto in maniera semplificata, assegnando due Template tipo, uno per i radiatori dei bagni ed uno per i convettori degli altri ambienti. Successivamente si è inserito l'impianto dettagliato, necessario per la valutazione delle misure di efficientamento con l'ottimizzatore.



Figura 54 DesignBuilder, definizione delle impostazioni HVAC

La distribuzione del calore negli ambienti, come già accennato in precedenza, avviene attraverso l'allaccio alla rete del teleriscaldamento, quindi con uno scambiatore di calore viene prelevata l'energia termica necessaria. Dal punto di allaccio si estende un grande circuito di distribuzione ad anello che va a servizio di tutti i padiglioni della caserma Riberi dei quali si parlerà meglio più avanti per quanto riguarda la ripartizione dei consumi.

Al livello del singolo padiglione, M in questo caso, l'allaccio al circuito di distribuzione ad anello avviene nel locale tecnico ubicato al piano seminterrato, in cui è ubicato il boiler per lo stoccaggio di ACS e le pompe di circolazione.

Da questo punto in poi il fluido termovettore viene distribuito nell'edificio al fine di fornire l'energia necessaria al riscaldamento. La regolazione dell'impianto è centralizzata ed è assente, nel senso che non ci sono termostati di rilevazione della temperatura, perciò l'impianto risulta sempre acceso. I terminali di emissione sono costituiti da ventilconvettori e radiatori. In particolare, troviamo i radiatori nei locali adibiti ai servizi igienici, mentre i ventilconvettori negli spazi comuni e nelle camere.

Ai fini di modellare tale situazione nel software sono stati creati 2 template, uno per i ventilconvettori ed uno per i radiatori e sono stati inseriti nei rispettivi ambienti. Tali template sono stati inseriti nei rispettivi ambienti, ed inoltre è stato definito come non riscaldato la zona del blocco di raccordo, del sottotetto, ed i locali di servizio dell'edificio in cui non sono presenti i terminali.

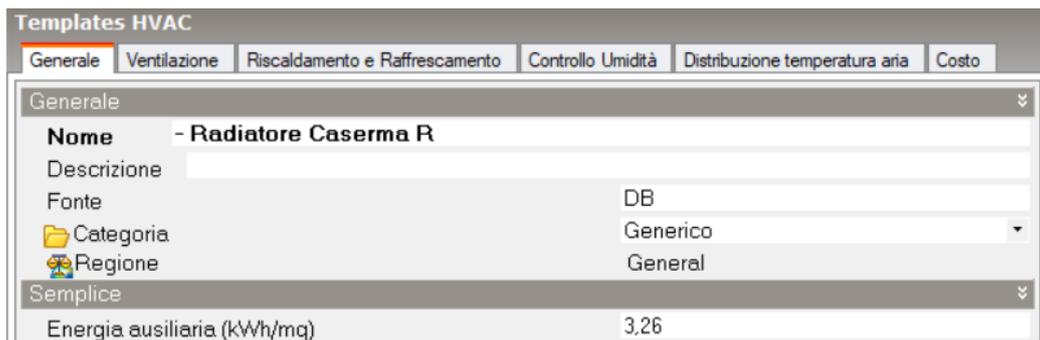


Figura 55 definizione del template Radiatore

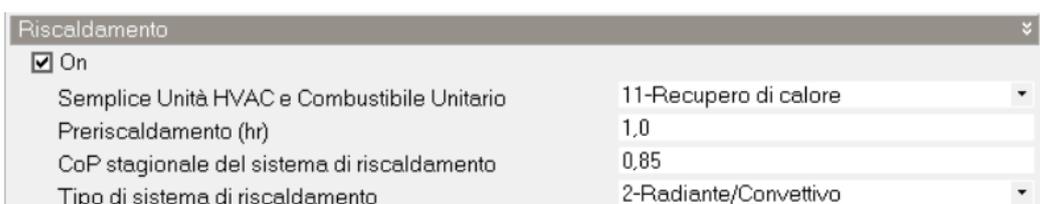


Figura 56 dati del radiatore

Analogamente poi per il convettore. Si nota che con il termine CoP, il quale sappiamo riferirsi all'efficienza della pompa di calore, in realtà il software lo usa per riferirsi in maniera generica all'efficienza del sistema impiantistico, comprendendo tutte le perdite di emissione, regolazione, distribuzione, stoccaggio e generazione, quando l'impianto è settato in modalità "semplice".

Successivamente è stato necessario definire l'impianto in modalità dettagliata per poter eseguire l'ottimizzazione del modello. Si è così inserito il generatore ed i gruppi zona con i terminali d'impianto di cui vediamo l'immagine dello schema impiantistico di seguito.

Al fine di riprodurre le perdite reali misurate è stato necessario inserire una efficienza nominale del generatore ed una curva normalizzata di una caldaia fittizia in grado di riprodurre il più fedelmente possibile il comportamento reale dell'edificio.

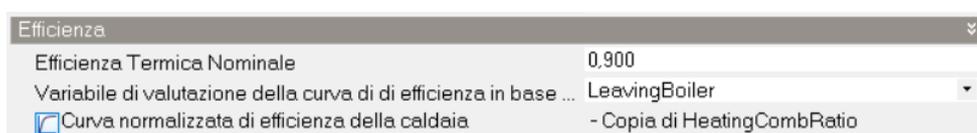


Figura 57 dati dell'impianto

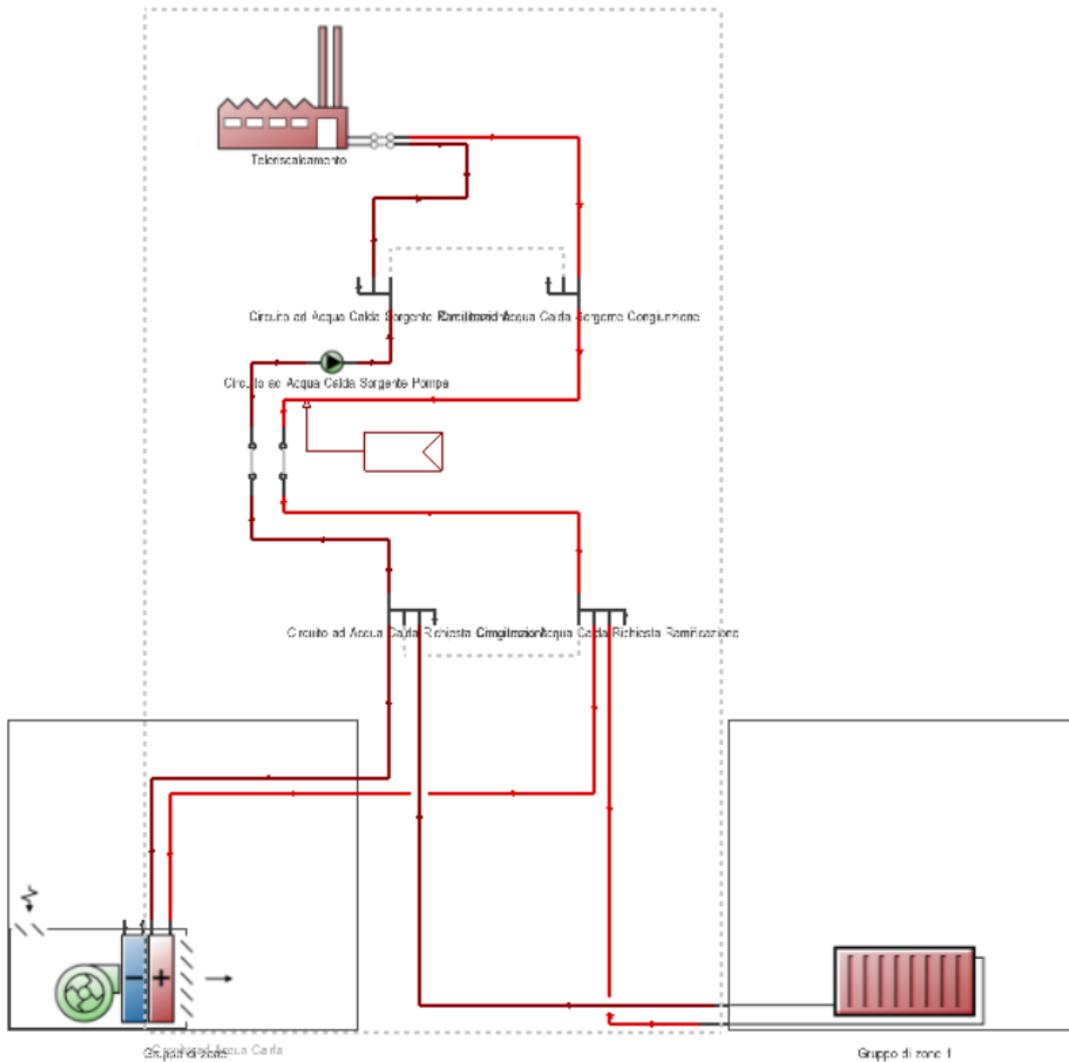


Figura 58 DesignBuilder, schema impiantistico dell'HVAC dettagliato

Coefficienti	
Coefficiente 1	0,0250000000
Coefficiente 2	1,5000000000
Range	
MinimoX	0,025000
MassimoX	1,500000
Tipo di unità di immissione per X	Adimensionale
Output	
Output della curva minima	0,025
Output della curva massima	1,500
Unità dei risultati	Adimensionale

Figura 59 dati della curva di efficienza

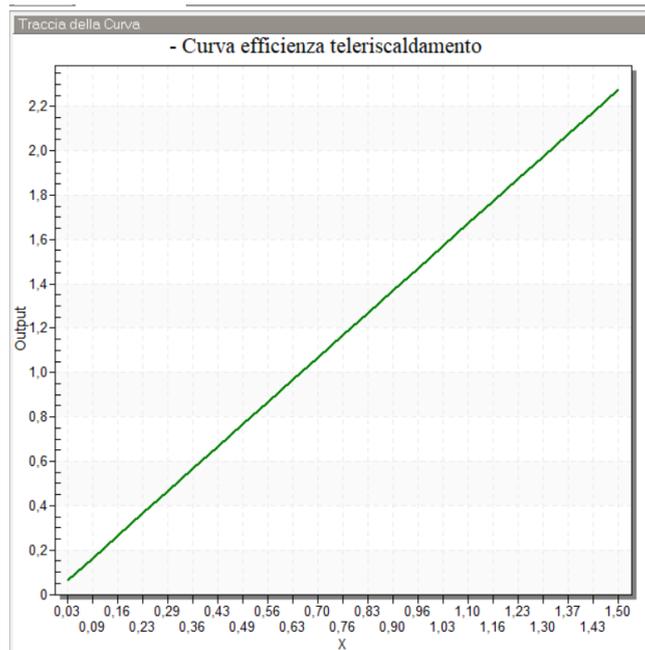


Figura 60 curva fittizia efficienza dell'impianto

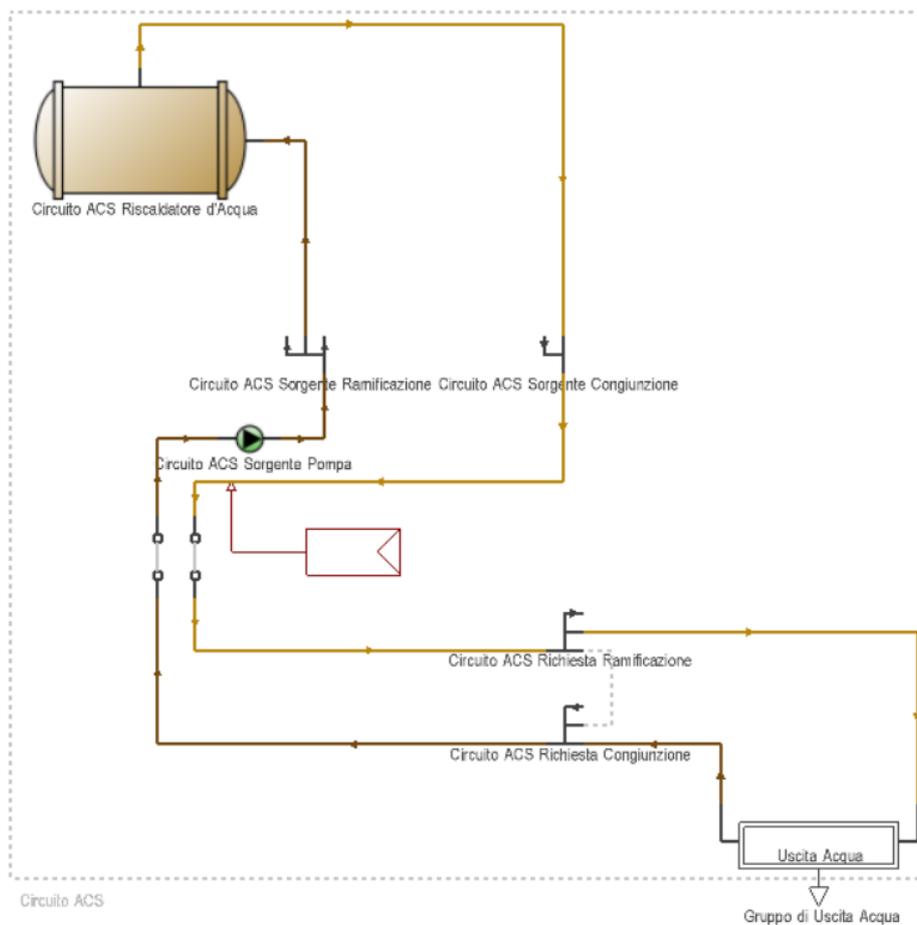


Figura 61 schema impiantistico dell' ACS

6. I consumi misurati

Come già detto nei primi paragrafi, l'edificio è servito dalla rete del teleriscaldamento, dal cui punto d'allaccio si dirama un circuito ad anello il quale serve tutti i padiglioni. Tale circuito è utilizzato sia per il riscaldamento invernale, sia per l'acqua calda sanitaria. I dati a disposizione riguardano i consumi al contatore generale, ed i padiglioni serviti da questo circuito ad anello sono 16 e sono i padiglioni : A, B, E, G, H, I, J, L, K, M, N, O, P, R, S, T. La ridistribuzione dei consumi ai fini del presente elaborato verrà fatta sulla base del volume dei singoli padiglioni. Di seguito si riportano le volumetrie e le caratteristiche geometriche dei singoli padiglioni:

PADIGLIONE	Sup. Netta P.S. [m ²]	h netta [m]	h lorda [m]	Sup. Netta P.R. [m ²]	h netta [m]	h lorda [m]	Sup. Netta P.1 [m ²]	h netta [m]	h lorda [m]	Vol netto [m ³]	Vol lordo [m ³]
A	348,4	2,45	3	355,6	2,95	5,5	0	0	0	1902	3001
B	607,4	2,45	3	581,9	2,95	5,5	0	0	0	3204	5022
E	0	0	0	416,03	2,8	4,4	0	0	0	1164	1830
G	178,5	2,8	3,58	190,8	3,4	5,1	0	0	0	1148	1612
H	491	3	3	491	3,4	5,55	491	3,4	5,5	4812	6899
I	485,6	3	3	485,6	3,4	5,55	485,6	3,4	5,5	4758	6822
J	484,9	3	3	484,9	3,4	5,55	484,9	3,4	5,5	4752	6814
K	487,5	3	3	487,5	3,4	5,55	487,5	3,4	5,5	4778	6850
L	488,3	3	3	488,3	3,4	5,55	488,3	3,4	5,5	4785	6860
M	490,8	3	3	490,8	3,4	5,55	490,8	3,4	5,5	4810	6896
N	440,2	2,9	3,25	481,6	3,1	4,9	0	0	0	2769	3790
O	986	3,3	3,3	986	4,2	5,5	986	3,7	6,05	11043	14642
P	362	3,1	3,1	362	3	5,15	362	3	3,6	3294	4289
R	0	0	0	533,9	3,2	4,95	0	0	0	1708	2642
S	428,7	2,9	3,25	477,8	3,4	5,1	385	3,4	4,9	4179	5706
T	422,2	2,8	4	422,3	3,1	5,55	422	3,1	5,15	3800	6207
TOTALE										62915	89890

I consumi quindi sono stati ripartiti in modo da ricavare quelli relativi al Padiglione M. In particolare, si riportano quelli relativi al 2018 ovvero quelli corrispondenti all'anno cui si riferiscono i dati climatici, e quindi di maggiore interesse per le simulazioni.

Data	Letture Consumi Totali [MWh]	Letture Consumi Totali [MWh/ m ³]	Letture Consumi Pad M [MWh]	Consumi Pad M [MWh]
14/12/2017	54640,3	0,868	4177,55	36,77
12/01/2018	55341,2	0,879	4231,14	53,58
19/01/2018	55509,0	0,882	4243,96	12,82
26/01/2018	55672,1	0,884	4256,43	12,46
02/02/2018	55830,1	0,887	4268,51	12,07

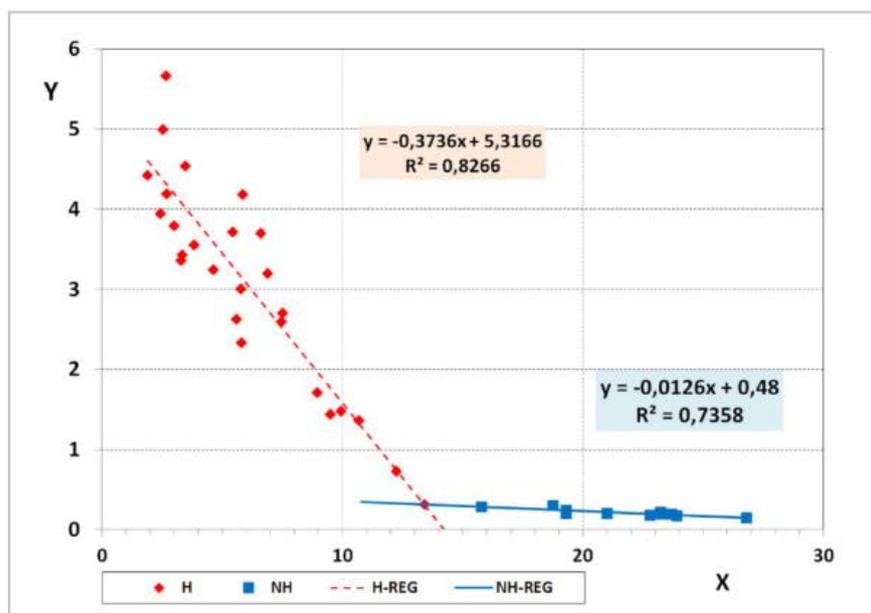
Data	Letture Consumi Totali [MWh]	Letture Consumi Totali [MWh/ m ³]	Letture Consumi Pad M [MWh]	Consumi Pad M [MWh]
09/02/2018	breakdown	#VALORE!	#VALORE!	#VALORE!
16/02/2018	56147,1	0,892	4292,75	24,23
23/02/2018	56317	0,895	4305,74	12,98
01/03/2018	56465,6	0,897	4317,13	11,36
09/03/2018	56670,2	0,912	4332,74	15,64
16/03/2018	56824,9	0,903	4344,52	11,82
22/03/2018	56949,1	0,924	4354,07	9,49
30/03/2018	57100,3	0,912	4365,63	11,56
13/04/2018	57330,0	0,91	4383,21	17,56
20/04/2018	57430,1	0,912	4390,84	7,65
27/04/2018	57464,3	0,913	4393,46	2,64
04/05/2018	57499,8	0,913	4396,17	2,71
11/05/2018	57536,0	0,914	4398,94	2,76
21/05/2018	57586,7	0,915	4402,82	3,87
28/05/2018	57621,7	0,915	4405,49	2,67
05/06/2018	57660,1	0,916	4408,43	2,93
11/06/2018	57687,9	0,916	4410,55	2,12
20/06/2018	57728,3	0,917	4413,64	3,08
29/06/2018	57766,5	0,918	4416,56	2,92
07/08/2018	57914,4	0,92	4427,87	11,30
16/08/2018	57944,7	0,92	4430,19	2,31
24/08/2018	57971,6	0,921	4432,24	2,05
31/08/2018	57996,2	0,921	4434,12	1,88
07/09/2018	58024,2	0,922	4436,27	2,14
14/09/2018	58053,8	0,922	4438,53	2,26
21/09/2018	58083,2	0,923	4440,78	2,24
02/10/2018	58132	0,923	4444,51	3,73
04/10/2018	58142,4	0,924	4445,30	0,79
12/10/2018	58181,4	0,924	4448,28	2,91
22/10/2018	58248,3	0,925	4453,40	5,11
05/11/2018	58476,1	0,929	4470,82	17,41
19/11/2018	58711,2	0,933	4488,79	17,97
29/11/2018	58915,7	0,936	4504,43	15,63
07/12/2018	59087,9	0,939	4517,59	13,16
09/01/2019	59892,5	0,951	4579,11	61,51
Consumi totali (H+DHW) misurati annuali pad M [MWh]				353,37

Si sono così ricavati i consumi totali per riscaldamento ed acqua calda sanitari per il Padiglione M. Da una prima simulazione del modello con impianto ideale, dal il software DesignBuilder, si ricava che i consumi sono molto distanti tra loro, infatti dal calcolo risultano circa 120 MWh di consumo annuale per riscaldamento e ACS. Tale differenza sarà dovuta sicuramente al fatto che

la situazione reale è molto diversa da quella modellata soprattutto per quanto riguarda la distribuzione del circuito di distribuzione della rete del teleriscaldamento. Si suppone infatti che l'impianto presenti grosse perdite , le quali non è possibile stimare per via analitica in quanto non si conosce l'esatta configurazione di tale rete, ovvero diametri , lunghezze , spessori, materiali ecc... Al fine di ottenere una stima più accurata, come vedremo nel seguito, si procede ad analizzare la firma energetica, sulla base dei dati a disposizione.

7. Energy Signature

La firma energetica (energy signature), consiste nella correlazione tra il fabbisogno energetico di riscaldamento e la temperatura media esterna.



Key

- X external temperature °C
- Y delivered power kW
- H-REG heating regression line
- NH-REG non heating regression line

Figura 62 regressione lineare per il metodo della firma energetica , CEN/TR 15378-4 : 2017

Sulla base delle registrazioni settimanali dei consumi del complesso di edifici della caserma Riberi e della temperatura media esterna giornaliera , ricavata dai dati forniti dall'ARPA , vengono individuati su di un grafico , dei punti. Per questi punti , rappresentati con dei cerchi colorati (blu per la DHW, e in rosso per H), si possono tracciare le linee di regressione. È interessante osservare che la linea di regressione blu rappresenta la firma energetica relativa alla DHW , mentre quella rossa relativa al riscaldamento H.

Si può notare il “salto” che si ha , in corrispondenza dei 18 C° (temperatura alla quale si ipotizza l’impianto di riscaldamento spento) tra la linea blu dell’ACS e quella rossa del fabbisogno energetico per il riscaldamento, rappresenti proprio la quota delle dispersioni del sistema di distribuzione dell’impianto di riscaldamento stesso, ovvero del circuito ad anello della rete del teleriscaldamento a servizio dei padiglioni della caserma sopra elencati.

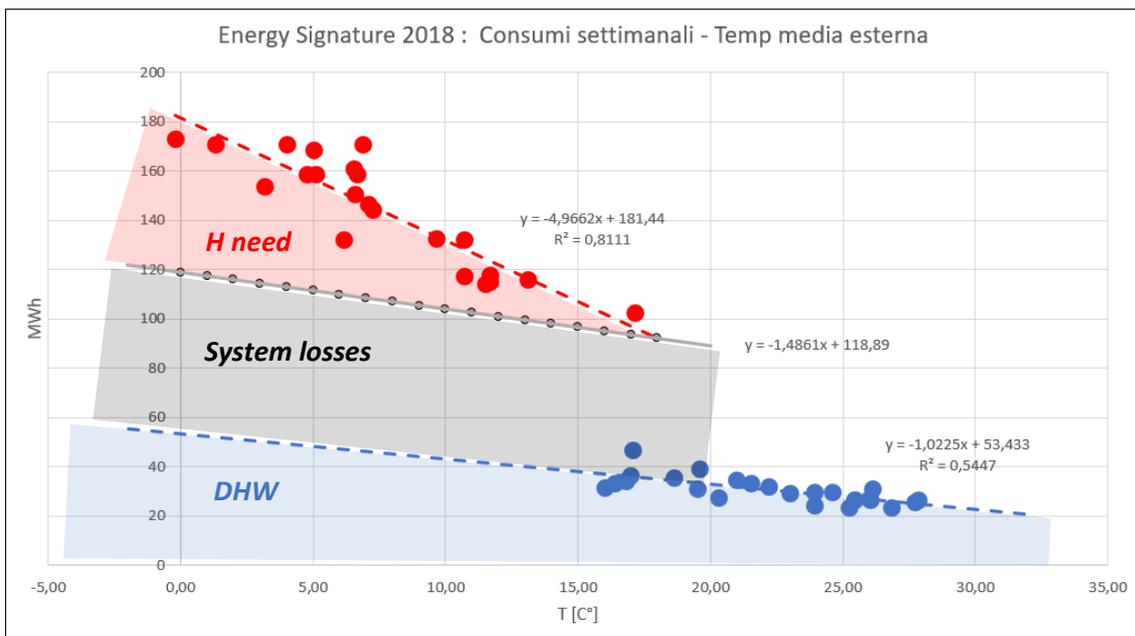


Figura 63 firma energetica per la caserma Riberi - 2018 –

Ipotizzando poi che tale dispersioni siano proporzionali alla differenza di temperatura tra l’acqua che circola nelle tubazioni (tipicamente 80°C) e la temperatura esterna , si è tracciata la retta nera che identifica graficamente la fetta delle dispersioni. Si sono così identificate 3 aree sul grafico , le quali rappresentano rispettivamente , in rosso il fabbisogno energetico per il riscaldamento, in grigio l’area delle perdite per distribuzione, ed in blu il consumo per l’acqua calda sanitaria. Sulla base di queste considerazioni si può procedere a ritroso , depurando i consumi misurati dalle perdite di sistema e dall’ACS in modo da ricavare il fabbisogno energetico per il riscaldamento con cui andare a confrontare il risultato del modello e procedere con la sua stessa calibrazione.

DATA	Pad M consumi riscaldamento al netto dalle perdite e da DHW [MWh]	DATA	Pad M consumi riscaldamento al netto dalle perdite e da DHW [MWh]
04/01/2018	0,46	29/06/2018	0
12/01/2018	9,18	07/07/2018	0

DATA	Pad M consumi		DATA	Pad M consumi	
	riscaldamento al netto dalle perdite e da DHW [MWh]			riscaldamento al netto dalle perdite e da DHW [MWh]	
19/01/2018	4,45		15/07/2018	0	
26/01/2018	4,18		23/07/2018	0	
02/02/2018	3,85		30/07/2018	0	
09/02/2018	3,71		07/08/2018	0	
16/02/2018	3,64		16/08/2018	0	
23/02/2018	4,52		24/08/2018	0	
01/03/2018	2,43		31/08/2018	0	
09/03/2018	7,27		07/09/2018	0	
16/03/2018	3,93		14/09/2018	0	
22/03/2018	1,23		21/09/2018	0	
30/03/2018	3,77		02/10/2018	0	
06/04/2018	1,15		12/10/2018	0	
13/04/2018	1,02		22/10/2018	0	
20/04/2018	0,74		29/10/2018	0	
27/04/2018	0		05/11/2018	2,95	
05/05/2018	0		12/11/2018	0	
11/05/2018	0		19/11/2018	2,86	
21/05/2018	0		29/11/2018	7,48	
28/05/2018	0		07/12/2018	4,88	
05/06/2018	0		15/12/2018	4,80	
11/06/2018	0		23/12/2018	8,58	
20/06/2018	0		31/12/2018	5,52	
TOTALE				92,73	

Occorre notare che gli intervalli tra le letture dei consumi non sono perfettamente omogenei tra loro , ovvero non sono con cadenza settimanale esatta. Al fine di uniformare questi intervalli , i consumi corrispondenti alle letture con intervallo maggiore sono stati distribuiti sul numero dei giorni, ricavando un consumo medio giornaliero e quindi andando poi a trovare il consumo relativo all'intervallo settimanale. Questa ovviamente è un'approssimazione di cui è opportuno

tenere conto. Allo stesso modo le perdite di distribuzione sono una stima e non un calcolo esatto. Si rimanda al foglio Excel allegato, in cui è possibile visualizzare tutti i valori dei consumi giornalieri dell'intero anno 2018.

8. Calibrazione del modello

L'obiettivo del processo di calibrazione è quello di avere un modello che ci dia l'opportunità di simulare alcune misure di efficienza energetica e ottenere risultati il più vicino possibile a quello che avremmo nella realtà. Per fare ciò, abbiamo bisogno di un modello in grado di riprodurre i reali consumi dell'edificio in diverse configurazioni e che ha come input orari di occupazione reali, set point di temperatura, ventilazione, ombreggiature, ottenuti da ispezioni, dai dati a disposizione e dalla testimonianza del Capitano della Caserma, il quale ha gentilmente offerto la propria collaborazione nel raccontare i profili di utilizzo del fabbricato. Il processo che ci dà questo strumento è chiamato calibrazione del modello. Il primo passo consiste nel simulare i consumi energetici con il clima reale e gli utenti reali, quindi confrontare i risultati con quelli reali forniti dallo staff tecnico. Successivamente, dalla forma dei risultati, è possibile calcolare alcuni indici statistici e, se vi è conformità con i valori dell'indice limite, si ottiene la calibrazione. Altrimenti dobbiamo modificare alcuni dati di input e ripetere il processo. Il seguente diagramma di flusso rappresenta il processo di calibrazione.

Calibration process

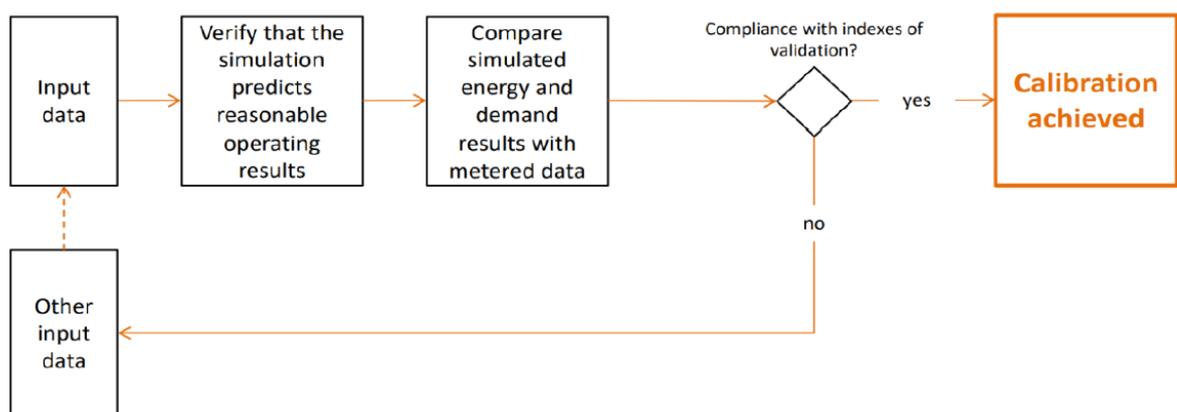


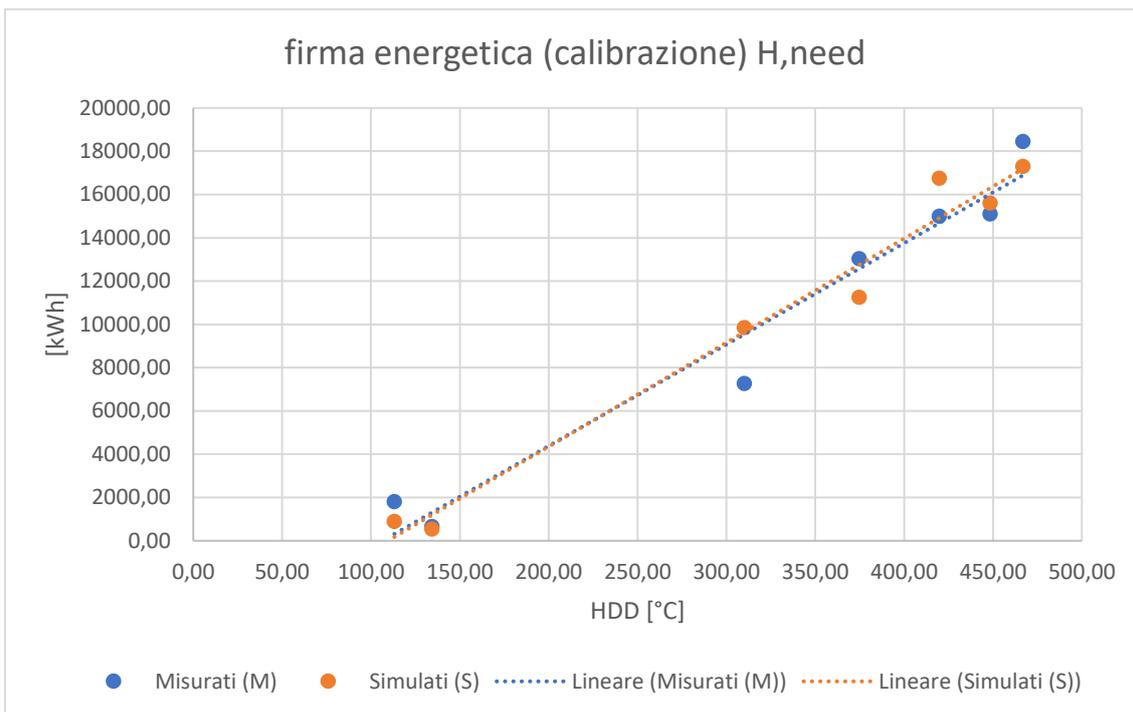
Figura 64 processo di calibrazione

Purtroppo, abbiamo solo consumi in relazione a un singolo anno completo (2018), quindi possiamo utilizzare solo indicatori statistici per convalidare la nostra calibrazione. Verrà comunque utilizzata l'energy signature su base mensile al fine di confortare i dati.

Dopo che la simulazione è stata completata, i consumi energetici dell'edificio sono risultati differenti da quelli reali. Per calibrare il modello, è stato utilizzato un metodo manuale che modifica alcuni parametri di input. In particolare, si è deciso di diminuire le portate di ventilazione e di considerare trasmittanze più basse per i componenti opachi dell'involucro mediante l'inserimento di un involucro esterno di spessore inferiore per il piano più alto. Si vuole osservare che l'inserimento della superficie finestrata del blocco di raccordo ha contribuito, anche se di poco, alla diminuzione dei consumi (evidentemente essendo esposta a sud si comporta come fosse una serra). Inoltre, sono state considerate le vacanze di Natale e Pasqua.

È stato altresì, al fine di abbattere le tempistiche di simulazione, semplificato il modello. Ovvero, le zone del controsoffitto sono state eliminate, modellando tale zona all'interno della stratigrafia del solaio introducendo un grosso strato d'aria. Sono state anche raggruppate alcune zone termicamente omogenee, in particolare gli ambienti presenti a sud da un lato e quelli al nord dall'altro (camere e bagni). Inoltre la zona del vano scala è stata meglio modellata al fine di riprodurre più fedelmente la situazione reale, introducendo dei fori in modo che i livelli risultassero fisicamente collegati. Modificando più volte i dati di input, attraverso il processo iterativo illustrato precedentemente, si sono ottenuti i risultati conformi ai valori limite come mostrato nei seguenti grafici e tabelle.

Vediamo il risultato dell'energy signature, in cui l'obiettivo principale al fine di ottenere il modello calibrato sia che le due firme energetiche dei due modelli a confronto sia il più possibile sovrapposta.



Di seguito si riportano i consumi misurati e simulati a confronto, mese per mese , relativamente al periodo di riscaldamento:

Mese	HDD [°C]	Consumi misurati intero complesso [MWh]	PAD M (M) [kWh]	Consumi Simulati (S)	S-M
gennaio	419	195,557	15002	16749	1746
febbraio	448	196,762	15095	15603	508
marzo	374	169,986	13041	11253	-1788
aprile	113	23,608	1811	890	-921
maggio	/	0,00	0,00	0	0,00
giugno	/	0,00	0,00	0	0,00
luglio	/	0,00	0,00	0	0,00
agosto	/	0,00	0,00	0	0,00
settembre	/	0,00	0,00	0	0,00
ottobre	134	8,648	663	538	-126
novembre	310	94,680	7263	9844	2580
dicembre	466	240,498	18450	17295	-1156
TOT			71329	72172	843

Si può osservare come i consumi registrati e simulati non sono perfettamente identici , ma presentano delle deviazioni. Ciò può essere dovuto ad una molteplicità di fattori. Ovviamente non conosciamo con esattezza il comportamento di tutti gli utenti che utilizzano il fabbricato , inoltre non sono note con precisione neanche le stratigrafie e le corrette proprietà fisico-tecniche dei materiali. Ancora , l'impianto non è noto nel dettaglio e quindi come già detto le perdite di distribuzione sono state stimate attraverso ragionamenti basati sull' "energy signature". Cosa non meno importante i consumi misurati a disposizione sono relativi all'intero complesso della Caserma Riberi e quindi il calcolo a livello di singolo padiglione porta con se ulteriori incertezze. Ciò nonostante, i risultati ottenuti sono più che soddisfacenti , in quanto soddisfano quelli che sono i requisiti della normativa. Infatti , con riferimento agli indici statistici di cui si parlava in precedenza , i valori ottenuti sono molto rassicuranti.

- Il "Mean Bias Error" (MBE) è stato calcolato come segue:

$$MBE \% = \frac{\sum_{year} (S - M)_{month}}{\sum_{year} M_{month}} \cdot 100$$

Dove S è il consumo energetico simulato (tailored energy rating) , mentre M è il consumo energetico misurato (operational energy rating).

- il "Root Mean Square Error" (RMSE) è calcolato come:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (S - M)^2_{month}}{n_{months}}}$$

- ed il coefficiente di variazione, CV(RMSE) è:

$$CV(RMSE)\% = \frac{RMSE_{year}}{A_{year}} \cdot 100$$

- Dove A_{year} è la media delle energie misurate durante l'arco dell'anno:

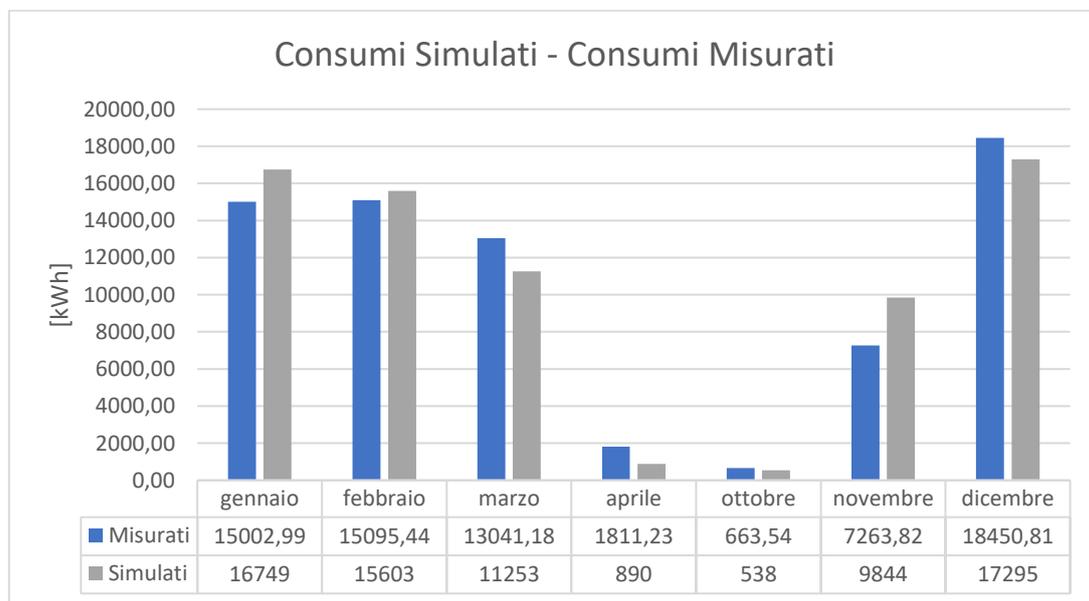
$$A_{year} = \frac{\sum_{year} M_{month}}{N_{month}}$$

Di seguito si riportano i risultati degli indici statistici calcolati:

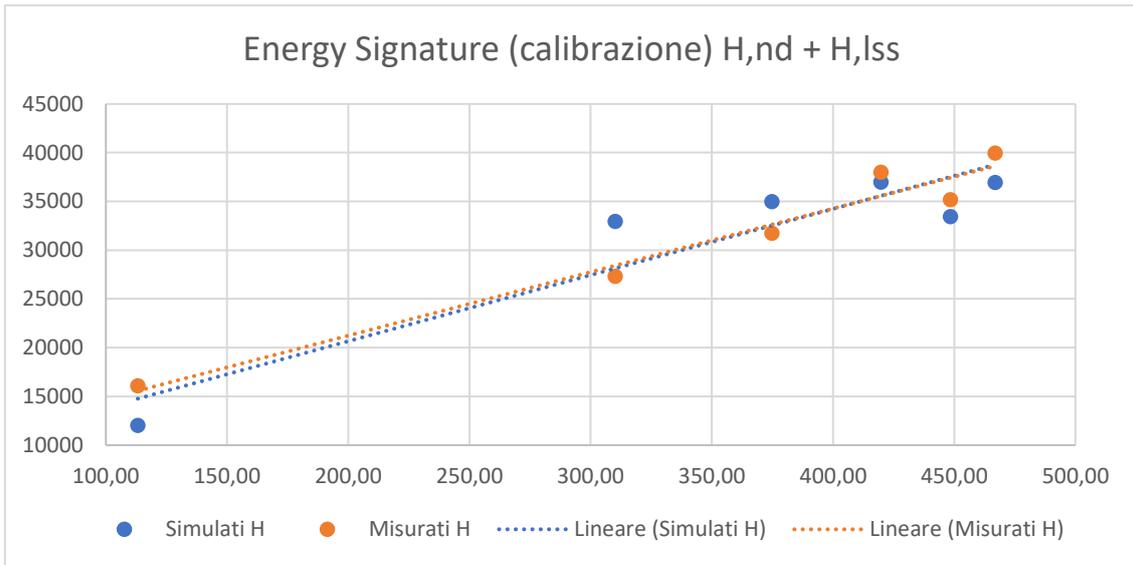
Indice Statistico	Valore calcolato	Valore limite
MBE	1,18%	±5%
<i>RMSE</i>	1198,702092	/
<i>A_{period}</i>	9909,559976	/
Cv(RMSE)	14,5%	15%

I valori limite degli indici statistici si riferiscono ad una valutazione con periodo di calcolo annuale (2018) ad intervalli mensili ed alla normativa ASHRAE. Come si nota, i valori limite accettabili sono stati rispettati per entrambi gli indici.

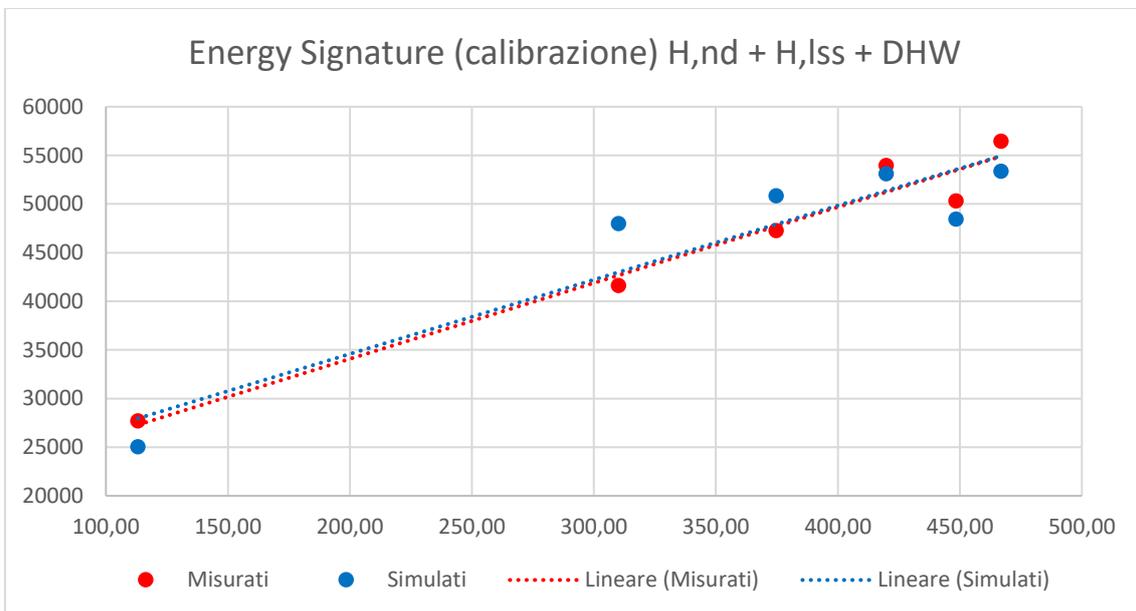
Il seguente grafico vuole riassumere e comparare i consumi mensili dell'edificio (Padiglione M) misurati con i consumi simulati.



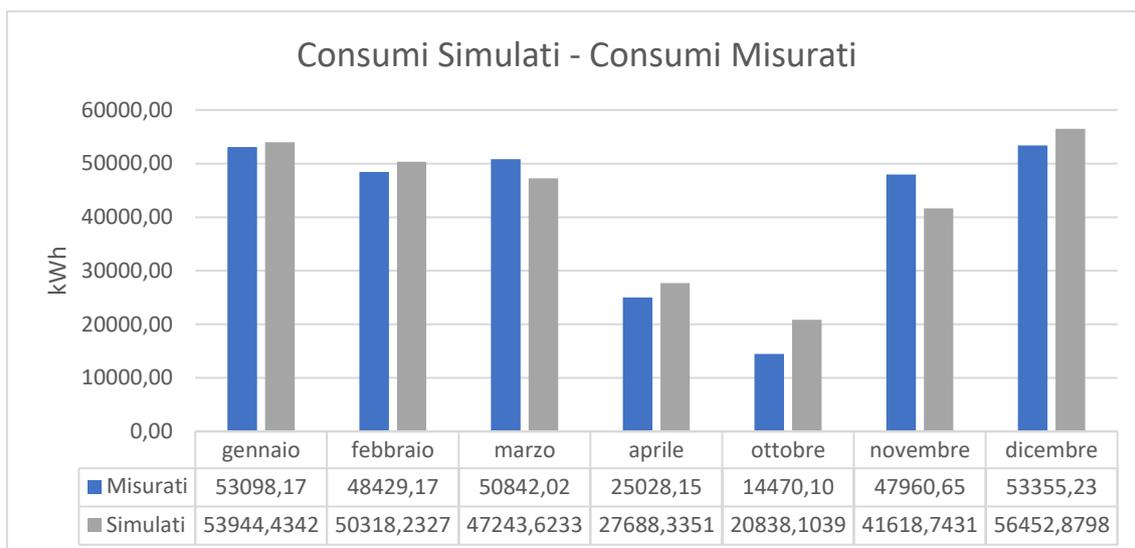
Dopo aver calibrato l'edificio sulla base del fabbisogno energetico netto utilizzato per il riscaldamento invernale, si è proceduto ad una ulteriore calibrazione considerando prima le perdite dell'impianto di riscaldamento e poi quelle relative all'ACS.



In particolare, aggiungendo lo schema impiantistico all'interno del software ed introducendo delle curve di efficienza fittizie in grado di riprodurre le perdite reali, è stato possibile calibrare l'impianto andando a modificare i coefficienti della curva di efficienza del generatore.



Vediamo di seguito il confronto tra i consumi simulati e misurati considerando l'edificio modellato completo di HVAC dettagliato.



Sono stati calcolati gli indici statistici al fine di verificare la calibrazione del modello creato.

Indice Statistico	Valore calcolato	Valore limite
MBE	1,68 %	±5%
<i>RMSE</i>	4047,511658	/
<i>A_{period}</i>	41883,35571	/
Cv(RMSE)	9,66 %	15%

Di seguito la tabella riassuntiva dei risultati dei consumi energetici misurati e simulati.

Mese	PAD M (M) [kWh]	Consumi Simulati (S) [kWh]	S-M [kWh]
gennaio	53098	53944	846
febbraio	48429	50318	1889
marzo	50842	47243	-3598
aprile	25028	27688	2660
maggio	12921	12159	-762
giugno	10250	10295	44
luglio	10138	9019	-1119
agosto	10145	8312	-1833
settembre	10650	9737	-912
ottobre	14470	20838	6368
novembre	47960	41618	-6341
dicembre	53355	56452	3097
TOT	347290	347627	337

9. Risultati della simulazione

La calibrazione del modello è stata fatta sul consumo del riscaldamento invernale. La modellazione è stata però completa, inserendo l'ACS ed anche gli apparecchi elettrici. È possibile quindi stimare l'energia netta consegnata all'edificio. L'edificio è un sistema complesso composto dal fabbricato (la parte passiva) e dagli impianti, il cui confine di analisi al fine della determinazione della "net energy site" è chiamato "Assessment Boundary".

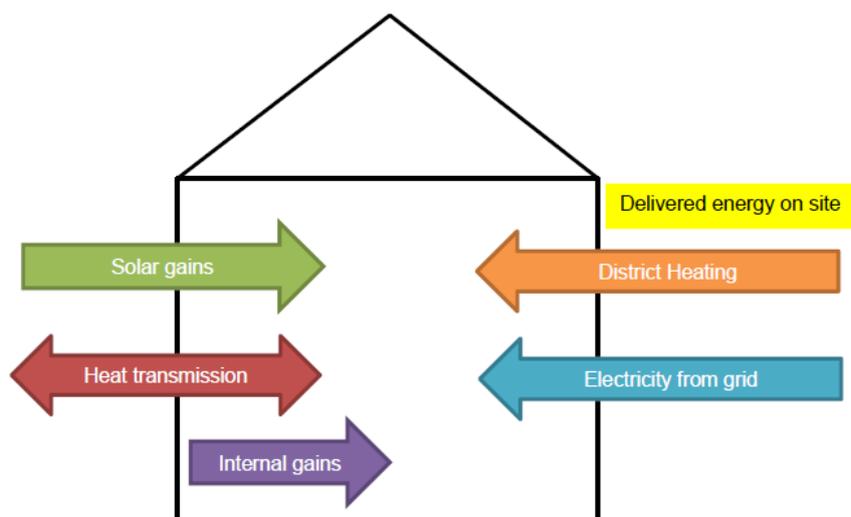


Figura 65 schema Boundary Assessment

Per il consumo di ACS, si è effettuato un confronto tra il calcolo ottenuto con il software di simulazione ed il calcolo ottenuto secondo la UNI/TS 11300-2. I risultati ottenuti sono del tutto simili. Sul software di simulazione si è inserito il Boiler alimentato dal teleriscaldamento.

calcolo fabbisogno ideale netto per ACS secondo la UNI/TS 11300 - 2									
Q [kWh]	a	Nu	Vw [l/gg]	Vw [m ³ /gg]	ρ [kg/m ³]	c [kWh/(kg*K)]	θ _{er,i}	θ ₀	G
26720	40	63	2520	2,52	1000	0,001162	40	15	365

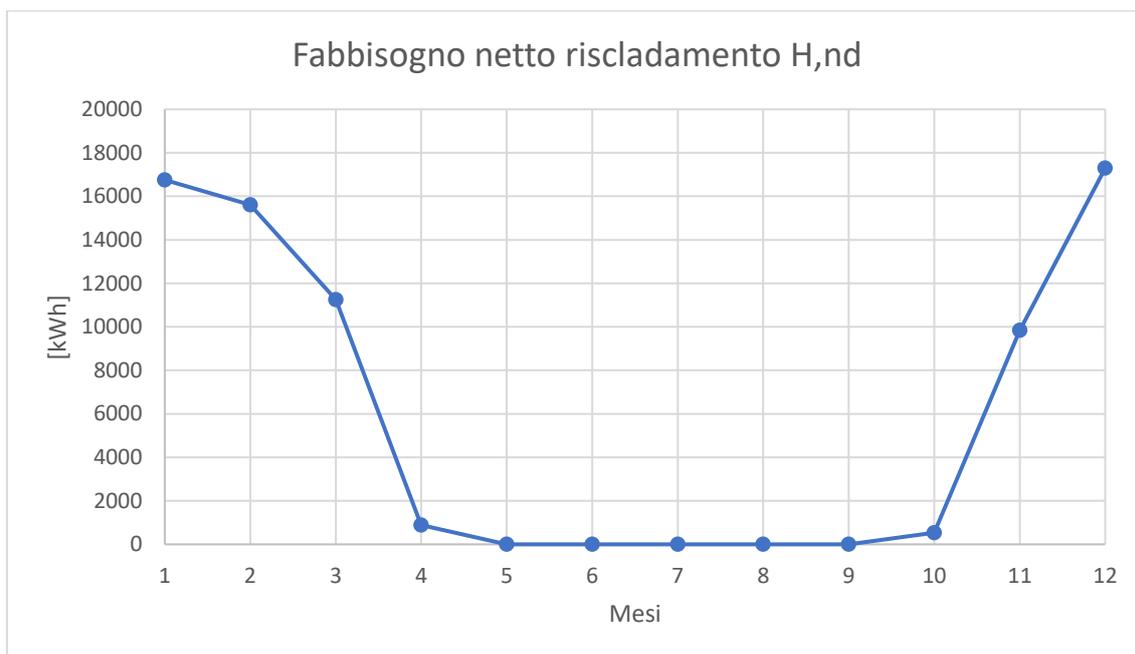
Dopo aver valutato l'energia consegnata all'edificio, attraverso opportuni fattori di conversione è possibile risalire all'energia primaria, sommare poi le varie energie primarie ottenendo quella totale e poi quella globale.

Di seguito, in tabella il consumo energetico dell'edificio suddiviso per servizio e tipo di energia utilizzata:

Servizio	Consumo [kWh]	tipo energia	fp,ren	fp,nren	EP,ren	EP,nren	EP,tot [kWh]
Riscald.	183195	Telerisc.	0	1,5	0	274792	274792
ACS	159934	Teleris.	0	1,5	0	239901	239901
Illumin.	50804	elettrico	0,47	1,95	23878	99068	122945
Pompe	13	elettrico	0,47	1,95	6	25	31
ausiliari	27	elettrico	0,47	1,95	13	53	65
TOT					23897	613839	637736
EP,gl							637736

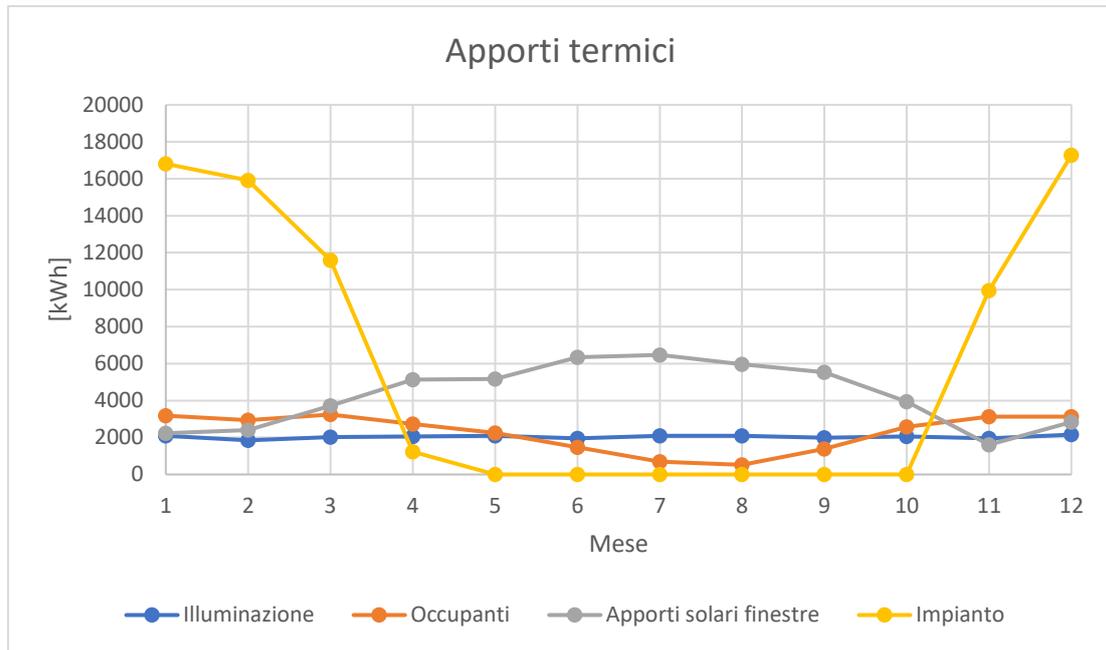
Risultano circa 432 kWh/m² annuo.

Di seguito, i risultati ritenuti più significativi della simulazione. Si notano i carichi del sistema mensili:

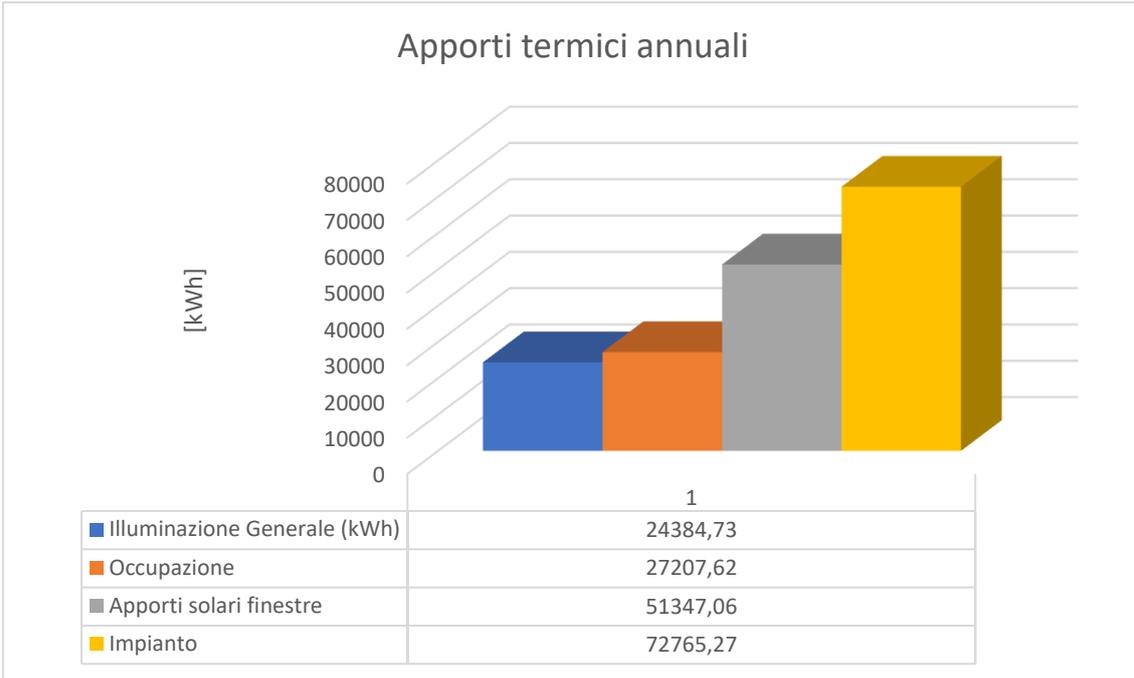


[kWh]	16749	15603	11253	890	538	9844	17295
Mese	Gen	feb	mar	apr	ott	nov	dic

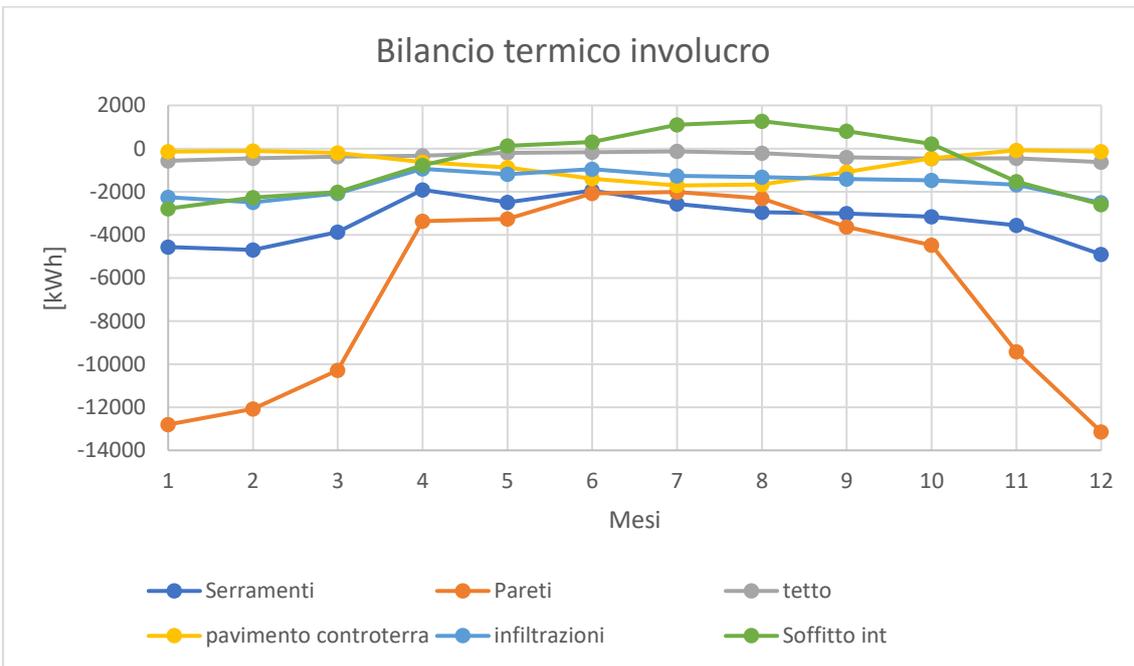
Gli apporti mensili ed annuali:



Mese	Impianto (kWh)	Apporti Solari Finestre (kWh)	Occupazione (kWh)	Illuminazione (kWh)
Gen	16807	2235	3185	2085
Feb	15915	2396	2930	1847
Mar	11589	3720	3242	2014
Apr	1231	5128	2725	2064
Mag	0	5168	2240	2085
Giu	0	6343	1466	1958
Lug	0	6468	687	2085
Ago	0	5966	522	2085
Set	0	5538	1376	1994
Ott	4	3943	2575	2049
Nov	9944	1605	3131	1958
Dic	17273	2832	3124	2155

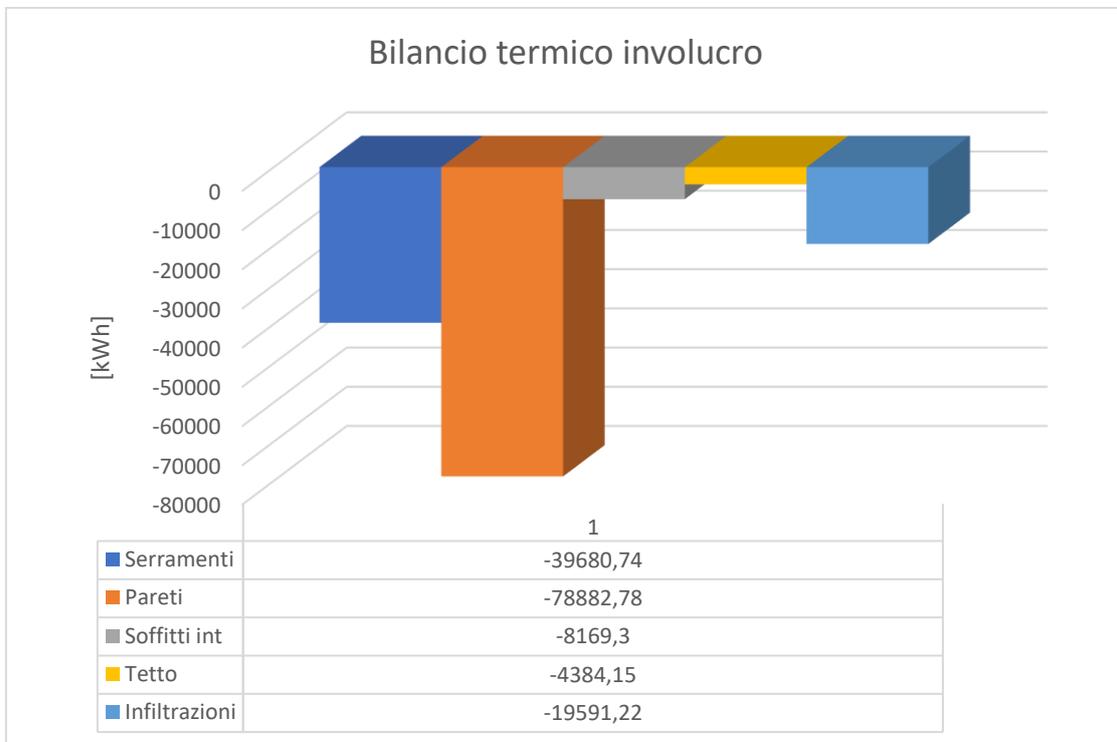


Vediamo ora i risultati riguardanti i componenti d'involucro mensili ed annuali:

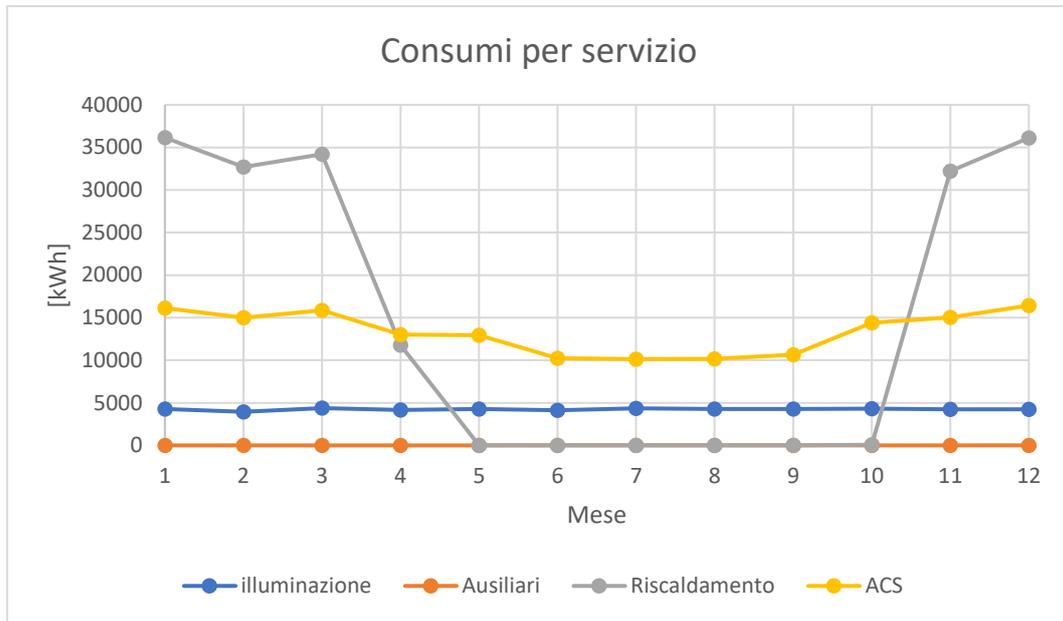


Mese	serramenti [kWh]	pareti [kWh]	tetto [kWh]	pavimento controt. [kWh]	infiltrazioni [kWh]	soffitto int [kWh]
gen	-4561	-12802	-571	-142	-2264	-2786
feb	-4704	-12075	-445	-114	-2498	-2279

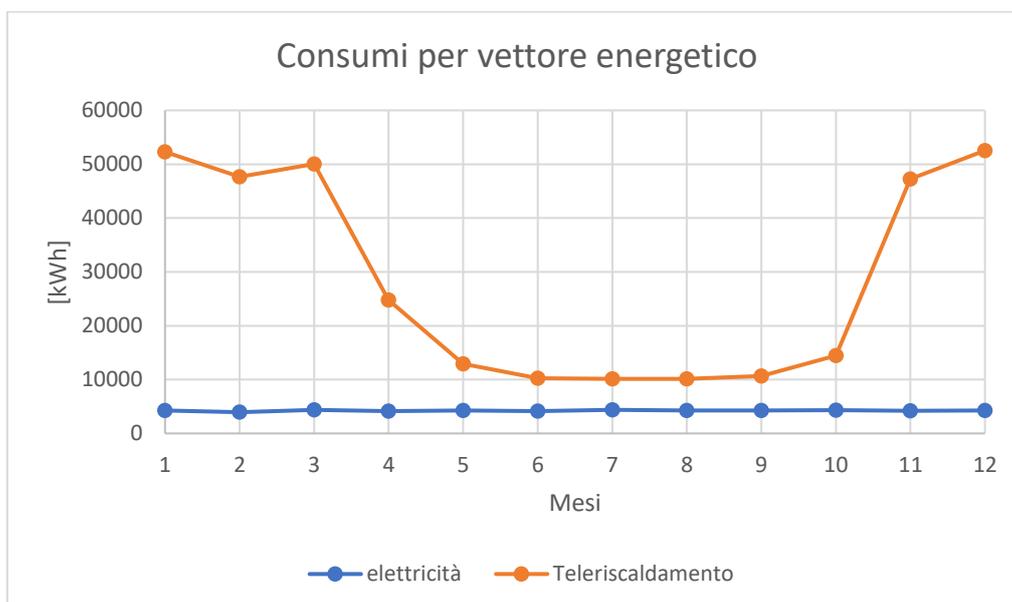
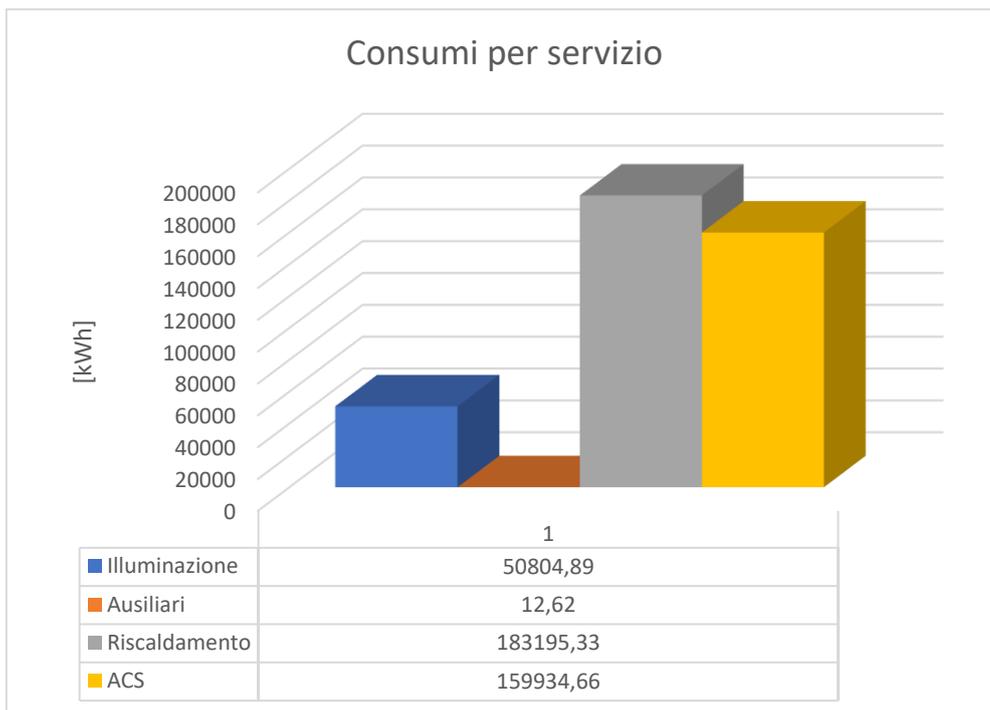
Mese	serramenti [kWh]	pareti [kWh]	tetto [kWh]	pavimento controt. [kWh]	infiltrazioni [kWh]	soffitto int [kWh]
mar	-3877	-10286	-371	-195	-2080	-2019
apr	-1913	-3361	-332	-629	-941	-781
mag	-2489	-3260	-204	-881	-1192	119
giu	-1951	-2079	-163	-1396	-954	306
lug	-2569	-2015	-131	-1715	-1269	1105
ago	-2959	-2316	-217	-1659	-1319	1269
set	-3015	-3637	-400	-1092	-1411	814
ott	-3162	-4486	-468	-453	-1467	213
nov	-3567	-9419	-449	-79	-1676	-1533
dic	-4909	-13141	-629	-138	-2516	-2600



Infine, l'andamento dei consumi mensili ed annuali :

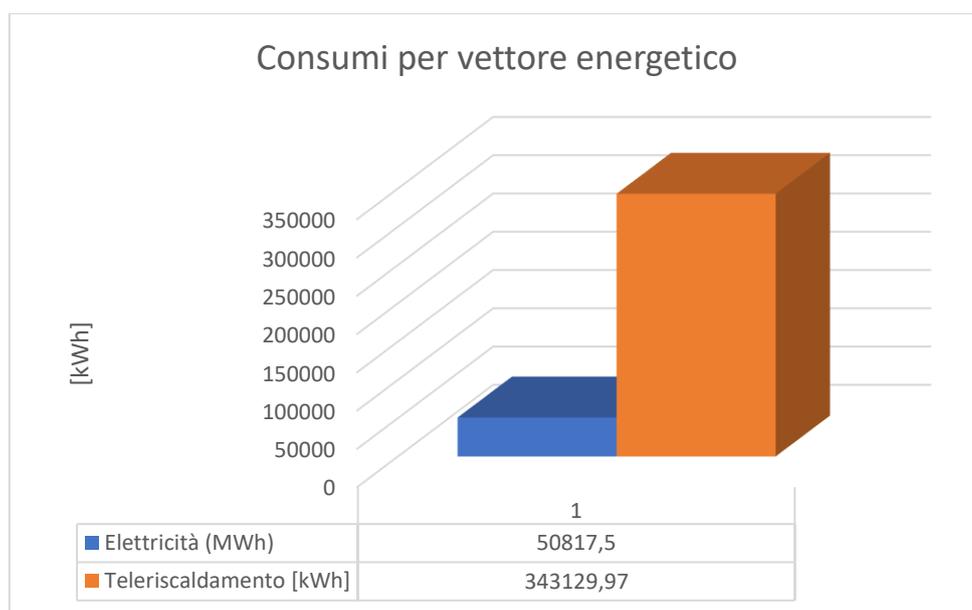


Mese	Illuminazione (kWh)	Ausiliari (kWh)	Riscaldamento [kWh]	ACS [kWh]
Gen	4265	3	36146	16130
Feb	3939	2	32706	14980
Mar	4368	2	34206	15859
Apr	4157	1	11761	13000
Mag	4265	0,5	0	12922
Giu	4138	0,5	0	10250
Lug	4352	0,5	0	10138
Ago	4265	0,5	0	10145
Set	4261	0,5	0	10651
Ott	4317	0,5	61	14407
Nov	4225	1,5	32197	15032
Dic	4248	2,5	36116	16419



Mesi	Elettricità (kWh)	Teleriscaldamento (kWh)
gen	4268	52277
feb	3942	47688
mar	4371	50066

Mesi	Elettricità (kWh)	Teleriscaldamento (kWh)
apr	4157	24761
mag	4265	12922
giu	4139	10250
lug	4352	10138
ago	4265	10145
set	4261	10651
ott	4317	14468
nov	4227	47229
dic	4251	52534

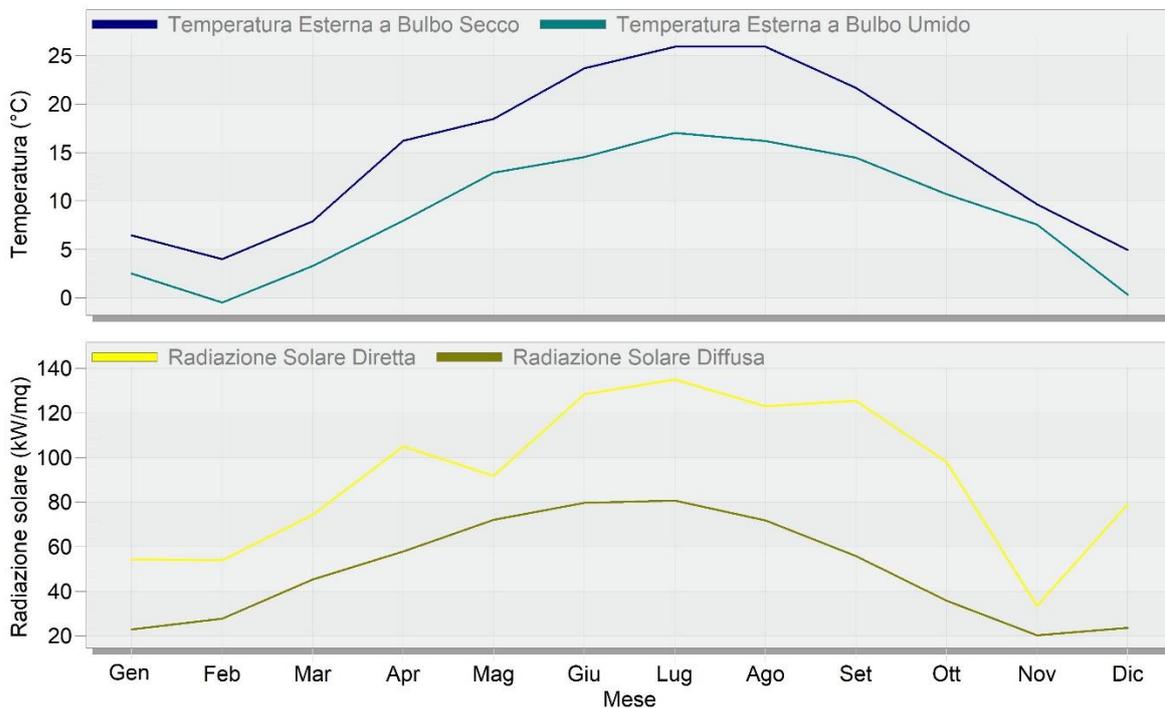


Inoltre, si riportano l'andamento delle temperature e della radiazione solare mensili e giornaliere:

Dati del luogo - Caserma Riberi, Caserma
1 Gen - 31 Dic, Mensile

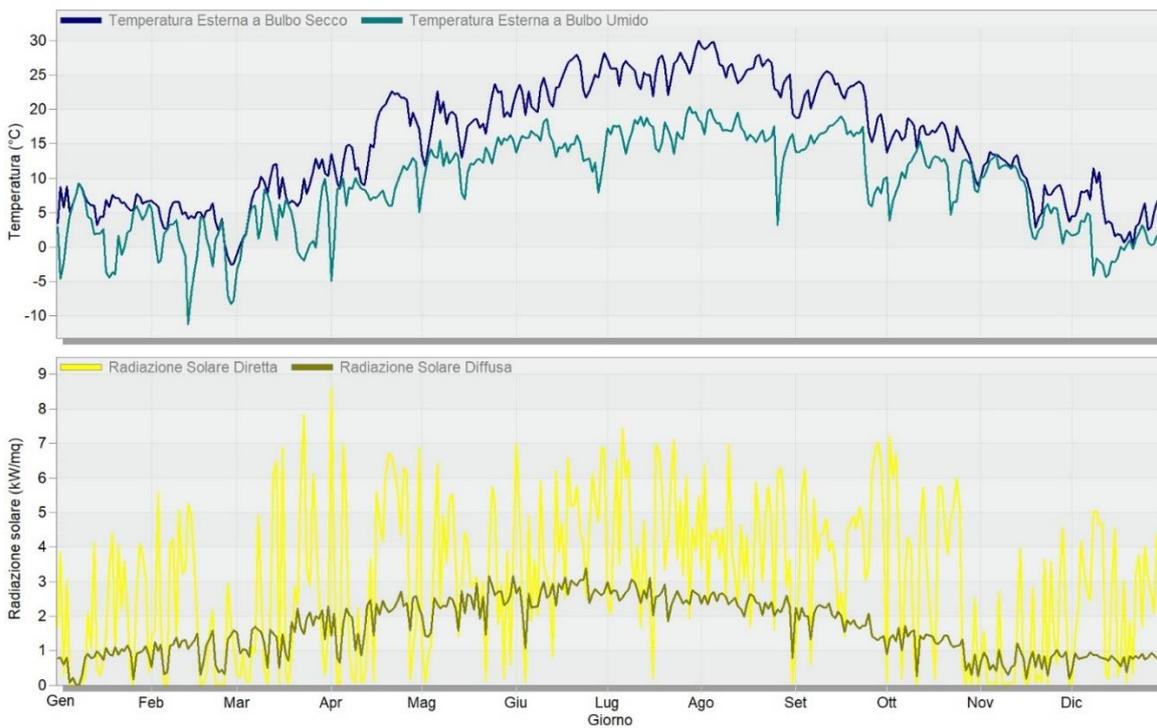
EnergyPlus

Studente



Dati del luogo - Caserma Riberi
Quotidiano

Dati climatici



Si allega per completezza il report completo dell'analisi al presente elaborato.

10. Ottimizzazione delle misure di efficientamento energetico

Obiettivo della diagnosi energetica, è quello di individuare le misure di efficientamento energetico ottimali da adottare al fine migliorare le prestazioni dell'edificio. Questa scelta non è semplice, infatti la molteplicità delle soluzioni che si possono adottare, dipende non solo dalla disponibilità economica, ma anche dall'obiettivo che ci si pone di raggiungere (se diminuire il consumo di energia piuttosto che puntare ad una riduzione di emissione di CO2).

10.1 Il costo globale

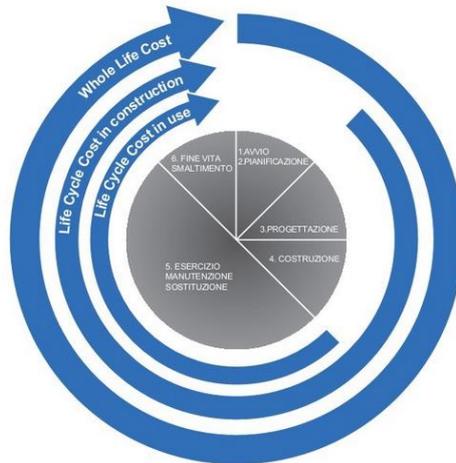
Ad ogni modo, la maggior parte degli interventi edilizi, che siano di nuova costruzione, di ristrutturazione, di efficientamento energetico ecc... comportano dei costi la cui valutazione è tutt'altro che banale. Infatti, la recente normativa europea in tema di sostenibilità economica ed ambientale degli interventi edilizi apre alle prospettive dell'approccio "Life Cycle Thinking". In pratica si cerca considerare sempre più l'intero ciclo di vita nella valutazione dell'impatto di un sistema.

Nel caso dell'edilizia, possiamo riassumere il ciclo di vita e le varie componenti di costo associate ad ogni fase di questo ciclo facendo riferimento alla figura seguente.



Figura 66 fonte: QEI (quaderni di economia immobiliare)

È quindi importante considerare le componenti di costo che si manifestano durante l'intero ciclo di vita dell'intervento. A tal proposito è opportuno introdurre il concetto di Costo Globale. Nella figura seguente vediamo come il concetto di Global Cost abbracci completamente l'intero ciclo di vita.



Fonte: elaborazione da ISO/FDIS 15686-5:2008, Figura 4, p. 9

Il costo globale rappresenta la somma di tutti i costi sostenuti durante l'intero ciclo di vita attualizzati all'anno zero iniziale di riferimento. Si calcola come:

$$GC(n) = C_i + \sum_j \left[\sum_{t=0}^n (C_{a,t}(j) \cdot DF(t)) - V_{f,n}(j) \right]$$

Dove:

- C_i è l'investimento iniziale di ogni componente j
- C_a è la somma dei costi d'esercizio C_r ed i costi periodici C_p , all'anno t
- DF è il fattore di sconto o di attualizzazione $DF=1/(1+r)^t$
- V_f è il valore finale residuo alla fine del periodo considerato n

Nel caso si consideri un periodo di 30 anni è possibile visualizzare le componenti del costo globale nella figura seguente.

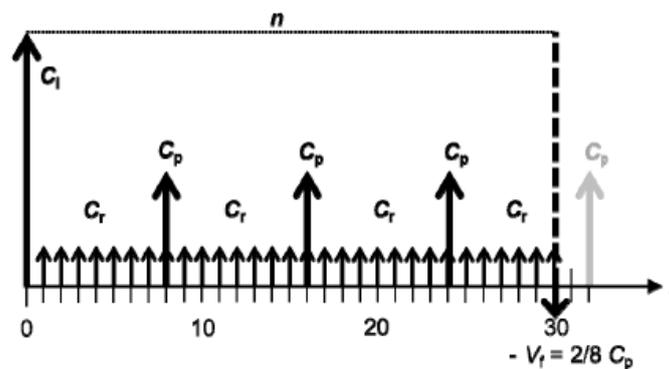


Figura 67 componenti del costo globale

10.2 Ottimizzazione multi-obiettivo

Nel mondo reale i problemi coinvolgono simultaneamente l'ottimizzazione di molte funzioni obiettivo. Generalmente queste funzioni hanno unità di misura differenti e spesso sono in competizione e conflitto tra loro. Ad esempio, come nel caso dell'efficientamento energetico, in cui si vuole ridurre sia il consumo di energia dell'edificio, ma allo stesso tempo minimizzare il costo globale che tali interventi comportano. Ovviamente tali obiettivi sono in conflitto tra loro, infatti per ridurre drasticamente il consumo energetico occorre necessariamente sostenere costi per migliorare le caratteristiche dell'immobile ed installare nuove tecnologie. Perciò occorre perseguire tali obiettivi simultaneamente se si vuole raggiungere un buon compromesso tra le variabili in gioco.

L'ottimizzazione multi obiettivo dà origine ad un set di soluzioni che si possono definire "ottimali", anziché dare un'unica soluzione, perché nessuna delle soluzioni può essere considerata migliore delle altre rispetto agli obiettivi da raggiungere. Questo set di soluzioni ottimali, prende il nome di soluzioni "Pareto-Optimal".

In generale, un problema di ottimizzazione multi-obiettivo si presenta con un certo numero di obiettivi e di vincoli che possono essere così formulati:

- Minimizzare/massimizzare $f_i(x)$, $i=1, \dots, N_{obj}$
- Soggette a dei vincoli $g_k(x) = 0$ $k= 1, \dots, K$
 $h_l(x) < 0$ $L= 1, \dots, L$

Dove:

- $f_i(x)$ è la funzione obiettivo da minimizzare o massimizzare
- x è il vettore decisionale che rappresenta una soluzione
- N_{obj} è il numero di obiettivi
- K e L sono il numero di vincoli

Per semplificare il problema, funzioni obiettivo addizionali possono essere trattate come vincoli. In questo modo più funzioni obiettivo possono essere considerate contemporaneamente.

10.2.1 Ottimo Paretoiano

Un set di soluzioni possibili nei confronti di funzione obiettivo , si definisce *Pareto Improvement* un movimento da una soluzione ad una altra che può individuare:

- Almeno una funzione obiettivo con un valore migliore
- E che nessuna delle altre funzioni obiettivo abbia un valore peggiore

Invece un set di soluzioni possibili si definiscono Pareto efficiente o *Pareto-Optimal* , quando nessun Pareto Improvement può essere fatto.

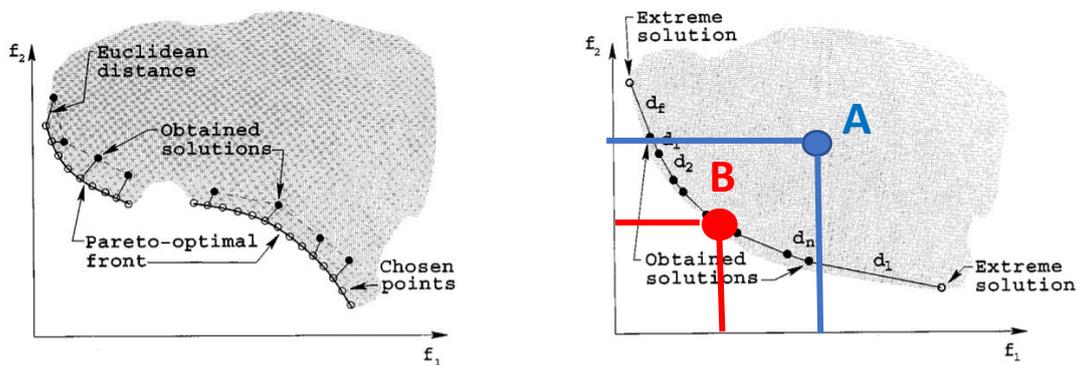


Figura 68 Pareto-Optimal Front, "A fast and Elitist Multiobjective Genetic Algorithm: NSGA II" – Deb et al. IEE Transaction On evolutionary Computation , vol 6 , NO.2 , April 2002

Nelle due figure sopra, individuiamo le soluzioni lungo la linea che vengono chiamate soluzioni Non-Dominated. Le soluzioni Dominated invece sono quelle dentro il grafico , e per le quali esiste un'altra soluzione migliore nei confronti di almeno un obiettivo. La linea rappresenta il Pareto-Optimal Front, le soluzioni sono chiamate Pareto-Optimal e sono tutte non-dominated. È quindi importante trovare soluzioni il più possibile sul confine vicino al Pereto front. Il fronte di Pareto può avere diverse forme , e questo può portare a difficoltà di interpretazione. Ad esempio nel grafico si sono indicate con due cerchi , di colore blu il punto A che rappresenta la soluzione Dominated , ed in rosso il cerchio B che rappresenta la soluzione Non-Dominated.

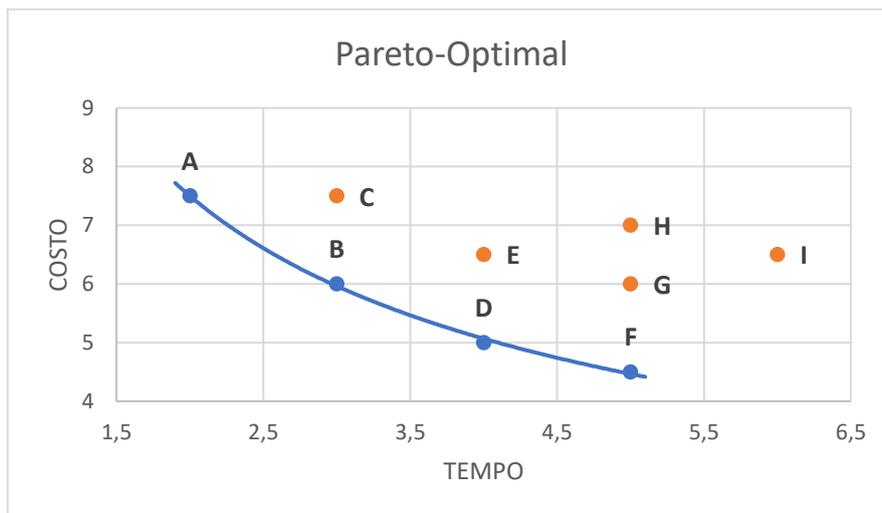
10.2.1.1 Esempio di soluzione Pareto-Optimal

Si può chiarire il concetto di soluzione ottimale e di soluzione Non-Dominated con un semplice esempio. Supponiamo di dover acquistare un biglietto aereo e dobbiamo scegliere tra 9 diverse opzioni. L'obiettivo è quello di minimizzare il costo del biglietto ma anche il tempo di volo simultaneamente. Nella tabella seguente vediamo che se paragoniamo A e B , notiamo che A è meglio dal punto di vista del tempo, mentre B è meglio dal punto di vista del costo.

Se paragoniamo B e C, si vede che B è uguale per il tempo, mentre è meglio per il costo. Si può dunque dire che B “domina” C. Quindi se B è una possibile soluzione, non c’è ragione alcuna per cui si debba scegliere C. Perciò B sarà un candidato a far parte della soluzione Pareto-Optimal.

Tipo di biglietto	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Tempo ore	2	3	3	4	4	5	5	5	6
Costo ('10 euro)	7,5	6	7,5	5	6,5	4,5	6	7	6,5

Si può dire che A domina C ; B domina C,E,G,H,I ; D domina E,G,H,I ; F domina G,H,I. Inoltre considerando A, B, D, F, non si dominano uno con l’altro, perciò formano un set di soluzioni Non-Dominated. Quindi fanno parte delle soluzioni Pareto-Optimal. Se plottiamo il grafico otteniamo il Pareto-Optimal Front, evidenziato dalla curva blu.



In questo caso abbiamo solo due obiettivi, ma è possibile avere anche Pareto-Optimal per più obiettivi e quindi tridimensionale ecc..

10.2.1.2 Algoritmi e tecniche di ottimizzazione evoluta

Algoritmi evoluti sono capaci di risolvere problemi di ottimizzazione multi-obiettivo fornendo un set di soluzioni simultaneamente possibili dal punto di vista degli obiettivi. Sono capaci inoltre di trovare diversi punti del fronte di Pareto in un singolo step di calcolo. Questi algoritmi sono poco sensibili alla forma o alla continuità del fronte di Pareto, a funzionano in presenza di discontinuità o concavità. Esistono tecniche di tipo Non-Pareto e Pareto, utili per una ottimizzazione multi-obiettivo, e che sfruttano tecniche evolute di ottimizzazione.

- Tecniche Non-Pareto: non hanno incorporato direttamente il concetto di Pareto-Optimal, sono incapaci di produrre alcune porzioni del fronte di Pareto, ma sono efficienti e facili da implementare, e risultano appropriate se usate con pochi obiettivi da raggiungere
- Tecniche Pareto: sono state introdotte originariamente da Goldberg (1989) per risolvere problemi multi-obiettivo; usano il cosiddetto “non-dominated ranking” e la “selezione” per far andare la popolazione verso il Pareto Front; sono utilizzate due procedure, una procedura detta “ranking” ed una altra che serve a conservare la diversità della popolazione.

Si riporta per completezza alcune delle tecniche di tipo Pareto e Non-Pareto sono, evidenziando quella che verrà utilizzata dall’ottimizzatore di DesignBuilder, come vedremo più avanti.

Non-Pareto	Pareto
Aggregating approaches	Multi-objective genetic algorithm (MOGA)
Vector evaluated algorithm (VEGA)	Non-dominated sorting genetic algorithm-II (NSGA-II)
LEXICOGRAPHIC ORDERING	Multi-objective particle swarm optimization (MOPSO)
The ϵ -constraint method	Pareto evolution archive strategy (PAES)
Target-vector approaches	Strenght pareto evolutionary algorithm (SPEA-II)

10.3 Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm-II (NSGA-II)

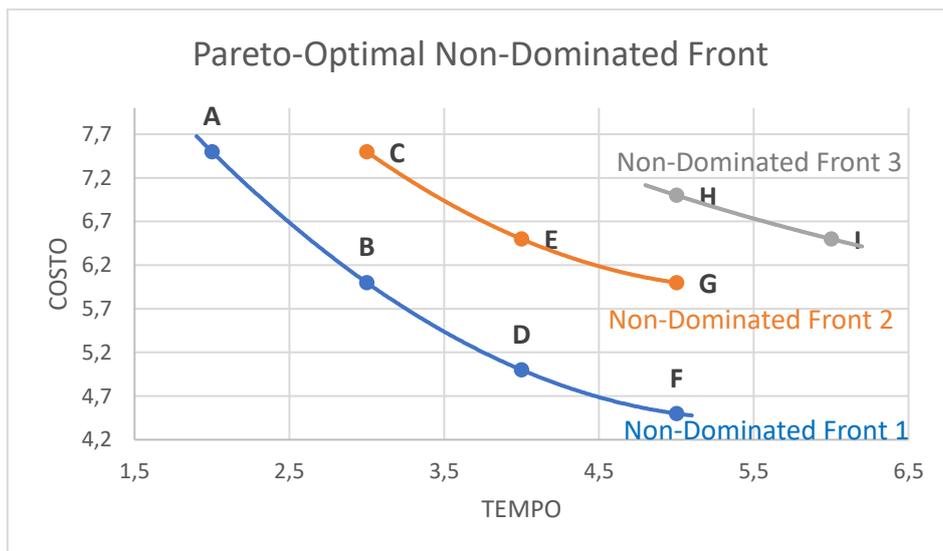
Non-dominated Sorting Genetic Algorithm-II è conosciuto come (NSGA-II), è un metodo meta-euristico, ed è stato proposto da Deb. et al. nel 2000. Le principali caratteristiche sono:

- Enfatizzare l’ordine Non-dominated (Non-dominated Sorting)
- Utilizzare il meccanismo di preservare la diversità della popolazione, infatti le tecniche meta-euristiche devono possedere fondamentalmente due cose:
 1. La selezione, ovvero sono selezionati i cromosomi migliori
 2. La diversità della popolazione, necessaria a rappresentare bene l’intera popolazione, altrimenti si potrebbero verificare fenomeni di localizzazione della soluzione anziché avere punti bene distribuiti

- utilizza la cosiddetta “crowding coparison”
- utilizza il principio “Elitist”, ovvero alcuni membri della popolazione madre vanno direttamente nelle generazioni seguenti sulla base di condizioni sopra-citate

10.3.1 Non-Dominated Sorting

Con riferimento all’esempio precedente, sono 9 biglietti aerei con le funzioni obiettivo di minimizzare i costi ed il tempo di volo. A,B,D,F non si dominano l’uno con l’altro, formano un set di soluzioni non-dominated e costituiscono il fronte di Pareto (rank1). C,E,G non si dominano uno con l’altro e costituiscono un altro non-dominated front (rank2). H,I anche non si dominano l’uno con l’altro e formano un altro front (rank3). Quindi muovendosi da una popolazione ad un'altra avrà la priorità quella con classificazione minore (rank1). Questo esempio chiarisce il concetto di Non-dominated sorting, ovvero ordinare le popolazioni secondo un certo criterio, andando dal rango minore verso quello maggiore.



In generale quindi, si può dire che se abbiamo due soluzioni i e j , la soluzione preferita è quella j se: $R_i < R_j$, dove R è la classificazione (rank). Le soluzioni appartenenti alla classificazione 1 sono caratterizzate da avere maggiore qualità rispetto a quelle appartenenti alle classificazioni superiori. Le soluzioni con stessa classificazione e appartenenti allo stesso fronte hanno stessa qualità. È da preferire quindi una soluzione avente classificazione minore.

Quando 2 soluzioni sono appartenenti allo stesso fronte, quella che si trova in una regione meno affollata è da preferire. Quindi se occorre scegliere 3 soluzioni tra le 4 appartenenti al front1 (A,B,D,F), quale bisogna scegliere? la scelta si basa sul principio della diversità della popolazione, quindi si preferisce la soluzione situata nella regione meno affollata (less crowded).

10.3.2 Crowding distance

Nella scelta di una soluzione piuttosto che un'altra, appartenente allo stesso fronte, si utilizza il principio della crowding distance (distanza di affollamento) al fine di preservare la diversità della popolazione. Ci sono due cose fondamentali che si devono verificare:

- La convergenza alla frontiera del Pareto-Optimal
- La diversità della popolazione che rappresenta la frontiera Pareto-optimal

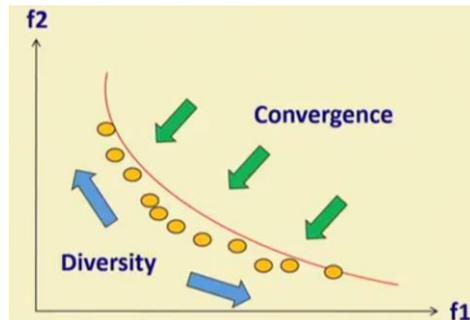


Figura 69 convergenza e diversità

È necessario quindi calcolare la crowding distance, e tutte le soluzioni del fronte di Pareto si ordinano secondo tale distanza. Si calcola come:

$$CD_{im} = \frac{f_m(x_{i+1}) - f_m(x_{i-1}))}{f_m(x_{max}) - f_m(x_{min})}, i = 2, \dots, (l-1)$$

Si ripete il calcolo per ogni obiettivo e la distanza di affollamento risulta pari ad

$$CD_i = \sum_{m=1}^M CD_{im}$$

Date due soluzioni i e j , quella da preferire è la soluzione j se:

$$R_i < R_j \text{ oppure } (R_i = R_j \text{ e } CD_i > CD_j)$$

Con riferimento all'esempio precedente dei biglietti aerei, è possibile calcolare la crowding distance per le soluzioni del fronte di Pareto A, B, D, F:

- $CD_A = \infty$
- $CD_B = \frac{4-2}{6-2} + \frac{7,5-5}{7,5-4,5} = 0,50 + 0,83 = 1,33$
- $CD_D = \frac{5-3}{6-2} + \frac{6-4,5}{7,5-4,5} = 0,50 + 0,50 = 1,00$
- $CD_F = \infty$

Dove:

- $f_{time}(x_{max}) = 6$
- $f_{time}(x_{min}) = 2$
- $f_{cost}(x_{max}) = 7,5$
- $f_{cost}(x_{min}) = 4,5$

Si nota che la distanza del punto A viene posta pari ad infinito in quanto la soluzione A non ha altre soluzioni vicini da un lato. Analogamente per la soluzione F. Quindi A e F saranno sicuramente 2 delle 3 soluzioni da scegliere tra le 4 disponibili. Tra la soluzione B e C è da preferire quella con crowding distance maggiore e quindi B. ciò significa che B si trova in una regione meno affollata , ed ecco che il principio di preservare la diversità della popolazione è garantito. Questo è un esempio di come la crowding distance guida l'algoritmo nell'andare da una generazione ad un'altra.

10.3.3 NSGA-II , Esempi

L'algoritmo NSGA2 serve a risolvere problemi multi-obiettivo. Per meglio comprenderne il funzionamento vediamo alcuni esempi. Supponiamo di avere un cono regolare a base circolare come quello in figura, e di volere ottimizzare la sua progettazione in modo che l'area totale T , così come l'area S , siano minimizzate. I dati geometrici in gioco sono :

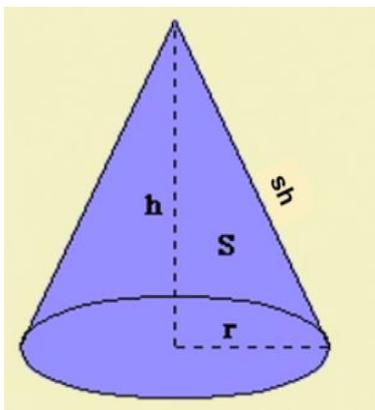


Figura 70 cono retto, circolare

- $r =$ raggio
- $h =$ altezza
- $V =$ volume
- $sh =$ lato obliquo $= \sqrt{r^2 + h^2}$
- $B =$ area di base $= \pi^2 * r^2$
- $S =$ area superficie laterale $= \pi * r * sh$
- $T =$ area totale $= B + S = \pi r (r + sh)$

Questo tipo di problema può sembrare semplice a prima vista, senonché tra i dati di input abbiamo 2 variabili e 2 obiettivi:

- Le variabili sono: $r \in [0,10]$ cm , $h \in [0,20]$ cm.
- Gli obiettivi sono: minimizzare S, minimizzare T

La soluzione del problema inizia con il considerare una “popolazione madre iniziale casuale”

	1	2	3	4	5	6
r	10,00	4,99	6,09	6,91	5,21	7,90
h	19,61	5,10	0,79	10,62	18,87	8,98

Tabella 4 popolazione madre iniziale casuale

10.3.3.1 Operazioni Genetiche

10.3.3.1.1 Codifica

Una volta ottenuta la popolazione iniziale madre casuale, occorre codificarla. Consideriamo una significatività per le variabili r ed h fino a 10^{-2} . La variabile $r \in [0,10]$ cm, quindi il numero di bits richiesti per la rappresentazione di r in binario sarà pari ad:

$$2^{(m-1)} < (b - a) * 10^2 < 2^m$$

Dove:

- il limite inferiore è $a=0$,
- il limite superiore è $b=10$,
- m è il n° di bits richiesti)

$$\text{Quindi si ha che : } (b - a) * 10^2 = (10 - 0) * 100 = 1000$$

Si nota che 10 è elevato alla seconda potenza perchè abbiamo bisogno di 2 cifre di precisione. Siccome dobbiamo rappresentare in binario almeno 1000 punti si ha che:

$$512 = 2^9 < 1000 < 2^{10} = 1024, \text{ avremo che : } m = 10$$

Analogamente si ottengono il numero di bits necessari alla rappresentazione di "h" in binario:

$$b = 20; a = 10; \text{ quindi, } m = 11$$

La popolazione iniziale, considerando i primi 10 bits per "r" e gli altri 11 bits per "h" diventa:

- $v_1 = 1111111111 \quad 11111011101$ (dove i primi 10 bits rappresentano il 10 iniziale)
- $v_2 = 01111111110 \quad 01000001001$
- $v_3 = 1001101111 \quad 00001010000$
- $v_4 = 1011000010 \quad 100001111110$
- $v_5 = 1000010100 \quad 11110001011$
- $v_6 = 1100101000 \quad 01110010111$

Si nota che la nostra precisione è 1000/1024.

Una volta fatta la codifica abbiamo che ognuna di queste stringhe di 21 bits rappresenta un "cromosoma" della nostra popolazione madre iniziale. Le fasi successive dell'algoritmo consistono nella Crossover e nella Mutazione.

10.3.3.1.2 Crossover

In questa fase ci sono varie tecniche, ad esempio possiamo considerare un probabilità di 0,25 in modo da selezionare casualmente un punto della crossover. Selezionato il punto, la codifica dei cromosomi rimane tale fino a quel punto, dopo di che le restanti cifre (in blu) vengono fuori da un'altra stringa:

- 
- $v'_1 = 11111$ **01111** 00001010000
 - $v'_2 = 01111111110$ 00000111110
 - $v'_3 = 1001111111$ 11111011101
 - $v'_4 = 1011000010$ 11000001001
 - $v'_5 = 1000010100$ 11110001011
 - $v'_6 = 1100101000$ 01110010111

Abbiamo così generato queste stringhe (o cromosomi) a seguito dell'operazione di Crossover.

10.3.3.1.3 Mutazione

La fase successiva alla crossover è quella della mutazione. Consideriamo una probabilità dello 0,01 e selezioniamo casualmente il bits per la mutazione.

- $v'_1 = 11111$ 01111 00001010000 $\rightarrow r = 9,84 ; h = 0,78$
- $v'_2 = 01111111100$ 00000111110 $\rightarrow r = 4,96 ; h = 0,60$
- $v'_3 = 1001111111$ 11111011101 $\rightarrow r = 6,24 ; h = 19,66$
- $v'_4 = 1011000010$ 11000001001 $\rightarrow r = 6,90 ; h = 15,09$
- $v'_5 = 1000010100$ 11110001011 $\rightarrow r = 5,20 ; h = 18,86$
- $v'_6 = 1100101000$ 01110010111 $\rightarrow r = 7,89 ; h = 8,97$

Abbiamo ottenuto un set di soluzioni possibili che prende il nome di popolazione "offspring".

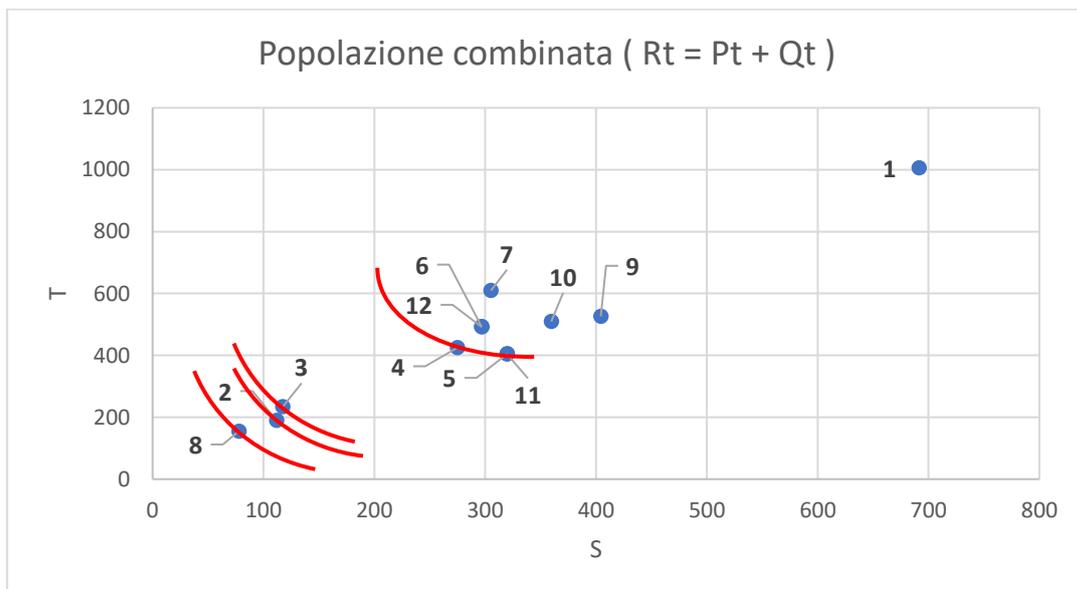
Nelle tabelle seguenti ricapitoliamo le due popolazioni ottenute, con l'obiettivo di minimizzare S e T. abbiamo così 12 stringhe dette anche cromosomi.

Popolazione iniziale Pt				
Sol	r	h	S	T
1	10,00	19,61	691,5	1005,7
2	4,99	5,10	111,8	190
3	6,09	0,79	117,4	234
4	6,91	10,62	275	425
5	5,21	18,87	320	405
6	7,90	8,98	296,8	492,9

Popolazione Offspring Qt				
Sol	r	h	S	T
1	9,84	0,78	305,14	609,32
2	4,96	0,60	77,8	155,13
3	6,24	19,66	404,3	526,16
4	6,90	15,09	359,6	509,25
5	5,20	18,86	319,59	404,54
6	7,89	8,97	296,91	491,68

10.3.3.1.4 Rank e Crowding Distance

Tra questi 12 cromosomi occorre selezionarne 6 per la prossima generazione. Ma come si scelgono ? ovviamente si vanno a prendere le soluzioni Non-Dominated. Plottando le stringhe si nota che 8 è la soluzione migliore sia nei confronti dell'obiettivo S e T. Per quel punto passerà il Pareto Front di rank 1 essendo la soluzione 8 Non-Dominated. Analogamente il punto 2 e 3 faranno parete del Pareto Front di rank2 e rank3.



Per scegliere le 6 soluzioni si procede con il Non-Dominated Sorting. Si vanno a mettere in ordine tutte le soluzioni comparandole tra di loro ed andando a scegliere quelle Non-Dominated. Ad esempio la soluzione 2 domina la soluzione 1. Quindi 1 verrà rimpiazzato dalla soluzione 2.

2 domina 3,4,5,6,7 , ma la soluzione 8 domina la 2. Quindi il 2 sarà rimpiazzato dall' 8. Si procede così mettendo in ordine le varie soluzioni. Dopo si vede che 8 domina le soluzioni 9,10,11,12, quindi sarà il primo fronte Non-Dominated. La soluzione 8 sarà al primo posto. Dopo vediamo che 2 domina 1 , e anche tutti gli altri 3,4,5,6,7,9,10,11,12, tranne l'8 ovviamente che è già stato inserito al primo posto. Quindi il secondo fronte Non-dominated sarà la soluzione 2. 3 sarà il terzo fronte Non-Dominated. 4 domina 1,6,7,9,10, ma non domina 5 e 11. Ma dato che 11 domina 5, allora il quarto Non-Dominated front sarà composto dal set 4 e 11.

5 domina 1 , ma non domina 6. La soluzione 6 domina 7,9,10, quindi il quinto set del Non-Dominated front è composto da 5,6,12. Abbiamo quindi 5 Pareto front (F1,F2,F3,F4,F5).

F1	F2	F3	F4	F5
8	2	3	4,11	5,6,12

Abbiamo bisogno di 6 soluzioni per la prossima generazione, quindi tra 5,6,12 quale scegliere?

Si valuta la crowding distance, ovvero si stima la densità della popolazione attorno la soluzione i della popolazione , e si prende la distanza media di 2 soluzioni da entrambi i lati della soluzione, nei confronti di ogni obiettivo.

Quindi per le soluzioni 5,6,12, abbiamo che:

- $S_{max} = 691,5; S_{min} = 77,8$
- $T_{max} = 1005,7; T_{min} = 155,13$

Si calcola la distanza nei confronti di ogni obiettivo S e T.

$$I(d_2) = 0 + \frac{320 - 296,8}{691,5 - 77,8} = 0,037;$$

$$I(d_2) = 0,037 + \frac{492,5 - 405}{1005,7 - 155,13} = 0,140;$$

Avendo posto le distanze di 5 e 6 pari ad infinito. Sommando le 2 distanze nei confronti di ogni obiettivo otteniamo la crowding distance:

$$d(12) = 0,037 + 0,103 = 0,14$$

Ovviamente si sceglieranno i valori maggiori ed essendo entrambi 5 e 6 con valore pari ad infinito si può scegliere indistintamente una delle 2 soluzioni.

La nuova popolazione sarà:

soluzione	r	h	S	T
1 (8)	4,96	0,60	77,8	155,13
2 (2)	4,99	5,10	111,8	190
3 (3)	6,09	0,79	117,4	234
4 (4)	6,91	10,56	275	425
5 (11)	5,20	18,86	319,59	404,54
6 (5)	5,21	18,87	320	405

Questo è un esempio di risultato di una iterazione del calcolo dell' algoritmo NSGA2. Si arresta il calcolo impostando le seguenti regole:

- Numero massimo di generazioni
- Nessun miglioramento in termini di qualità per un certo numero fissato di generazioni

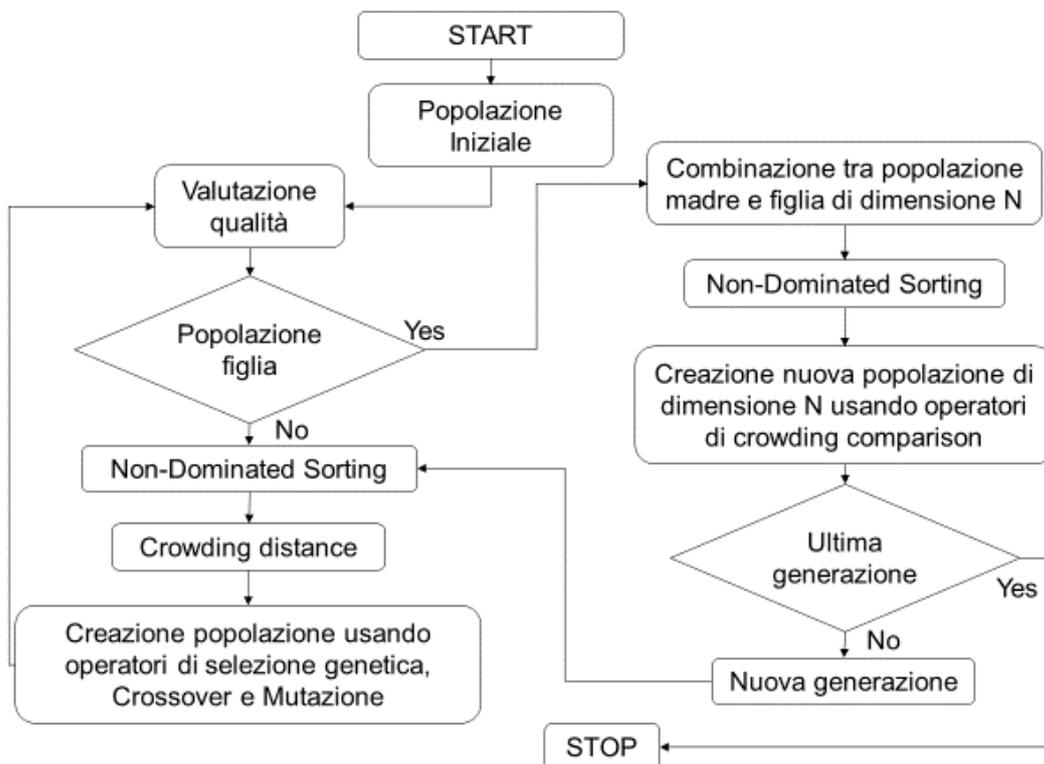


Figura 71 diagramma di flusso dell'algoritmo NSGA-II

Molti problemi multi-obiettivo possono essere risolti grazie all' algoritmo NSGA-II.

10.4 L'ottimizzazione con DesignBuilder

10.4.1 Introduzione

Il software DesignBuilder, consente di eseguire l'ottimizzazione in quanto utilizza proprio l'algoritmo genetico NSGA-II.

Al fine di migliorare la prestazione energetica dell'edificio è possibile intervenire sia sugli impianti che sull'involucro. Attualmente le tecnologie e le modalità di questi interventi sono in continua evoluzione, e la loro importanza è in continua crescita, perché consentono attraverso la riduzione dei consumi un minore impatto ambientale, ma anche un aumento delle condizioni di comfort e salubrità degli ambienti interni. Infatti lo scopo principale è non solo ridurre i consumi, ma anche aumentare il comfort interno.

Ai fini della presente esercitazione progettuale si procede innanzitutto con l'ottimizzazione della parte d'involucro, ovvero il fabbricato.

I principali tipi di intervento che si possono eseguire sull'involucro sono:

- Isolamento delle pareti (cappotto termico)
- Isolamento del solaio contro-terra
- Isolamento del tetto
- Isolamento del soffitto a contatto con il sottotetto
- Isolamento dei serramenti
- Applicazione di schermature solari

I materiali utilizzabili sono molteplici e gli spessori degli isolanti non sono altrettanto univoci. Si nota quindi che per indirizzare la scelta degli interventi da adottare è comodo ed utile lo strumento di cui si parlava precedentemente: l'ottimizzatore.

10.4.2 Le misure di efficientamento

Al fine di ottimizzare la prestazione energetica della Caserma si ipotizzano una serie di interventi che vediamo nel seguito.

intervento	parametro	1	2	3	4	5 (esistente)
Isolamento Cappotto termico	EPS [cm]	4	8	12	15	/
	U [W/m ² K]	0,45	0,29	0,22	0,18	0,9
	C [€/m ²]	65	81	97	109	0
isolamento del tetto	XPS [cm]	3	7	11	15	/
	U [W/ m ² K]	0,6	0,37	0,25	0,18	2,1
	C [€/m ²]	15	29	43	57	0
Isolamento del solaio	Lana di vetro [cm]	4	6	8	10	/
	U [W/ m ² K]	0,3	0,26	0,22	0,19	0,5
	C [€/m ²]	33	39	45	51	0
Serramenti con telaio in PVC	vetro	doppio	Doppio 4S	triplo	Triplo 4S	/
	U [W/ m ² K]	1,4	1,1	0,8	0,8	2,7
	C [€/m ²]	325	334	360	370	85

Successivamente sono è stato valutato l'inserimento di schermature solari al fine di ottimizzare il comportamento estivo dell'involucro. Non essendo presente un impianto di raffrescamento o di climatizzazione estivo non ci sono consumi da ottimizzare in tale periodo. Per tale motivo si è scelto di valutare la percentuale di ore di discomfort adottando la teoria del metodo adattivo.

È stato ipotizzato l'inserimento di schermature solari fisse oppure mobili:

schermatura	τ	tipo	Costo [€/m ²]
Fissa	-	Frangisole	170
mobile	0,2	Persiana	30

10.4.3 Risultato dell'ottimizzazione

Come ci si aspettava, l'output dell'analisi si presenta come uno sciame di punti , i quali rappresentano le combinazioni fra le diverse ipotesi di intervento di efficientamento energetico. Ovviamente non troviamo tutte le combinazioni in quanto l'algoritmo genetico NSGA-II consente una sorta di selezione "naturale" nel passaggio da una generazione a quella successiva. I parametri della dimensione della popolazione, della dimensione massima della popolazione ecc.. li vediamo nella fig. seguente.

Opzioni di ottimizzazione	
Generazioni massime	100
Dimensione della popolazione iniziale	20
<input type="checkbox"/> Metti in pausa sugli errori	
<input type="checkbox"/> Quietly retry if server becomes unavailable	
Avanzato	
Optimisation Engine	1-Open Beagle
<input checked="" type="checkbox"/> Pareto archive	
Dimensione massima popolazione	50
Dimensione torneo	2
Tasso incrociato	1
Probabilità di mutazione individuale	0.4

Figura 72 parametri NSGA-II

Di seguito si riporta l'output dell'ottimizzazione:

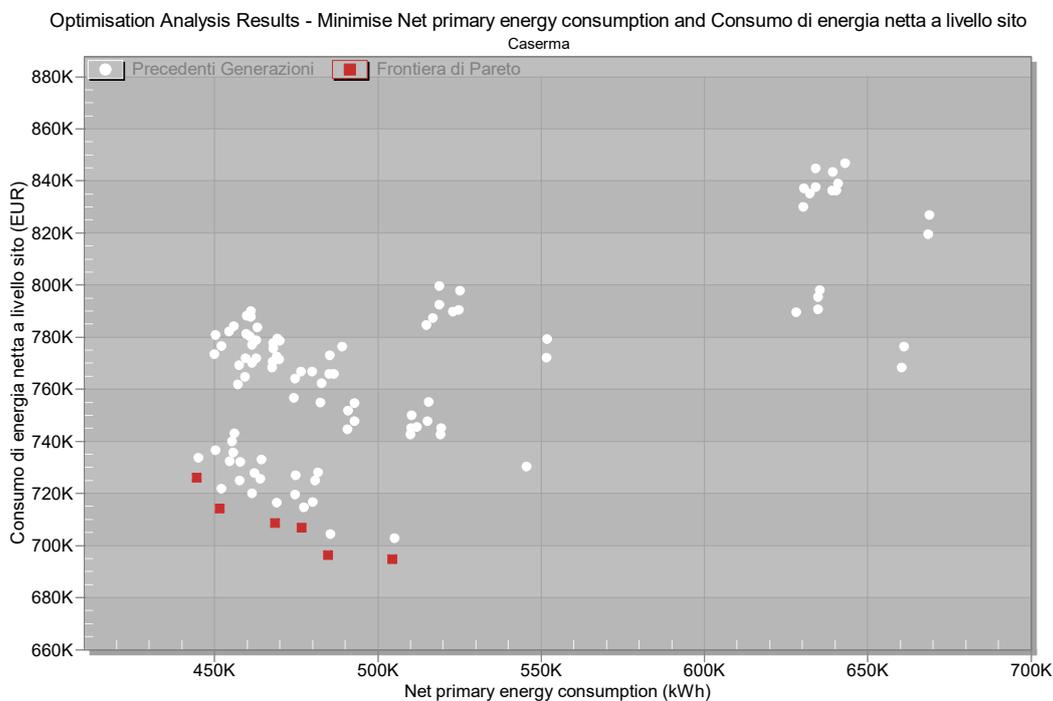
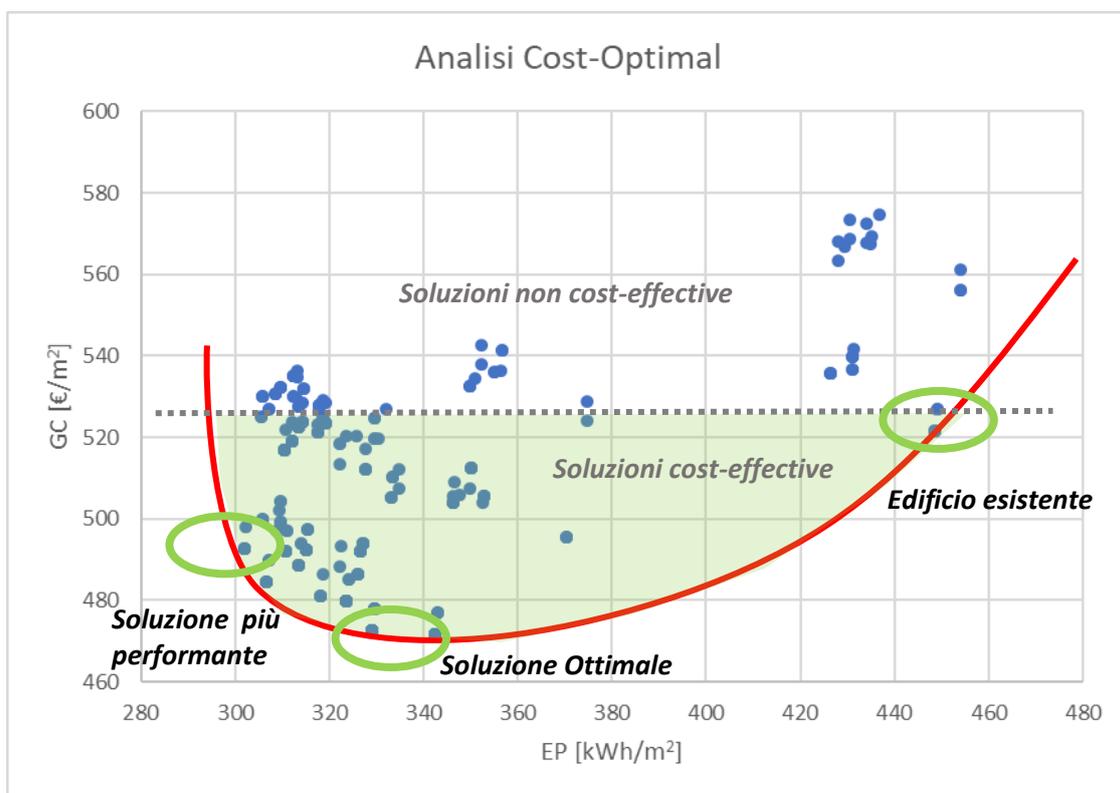


Figura 73 designbuilder, ottimizzazione

In rosso sono evidenziati i punti del fronte di Pareto , ovvero quei punti i quali rappresentano la soluzione migliore nei confronti degli obiettivi prefissati.

Ricordo che gli obiettivi da minimizzare sono il costo globale dell'edificio e la riduzione del consumo di energia primaria netta. Il costo globale considera convenzionalmente la vita nominale dell'edificio posta a 30 anni includendo i costi di esercizio, quelli iniziali e di manutenzione per ogni singolo intervento.

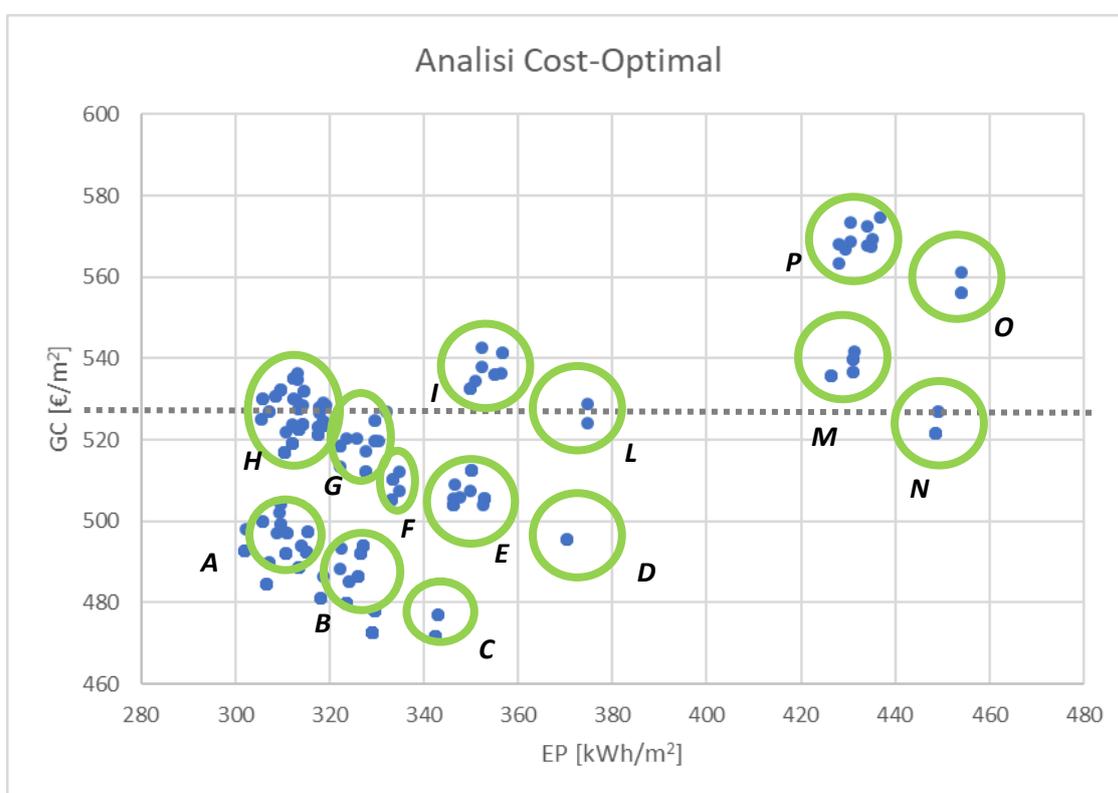
È possibile normalizzare il risultato dell'ottimizzazione sui m² dell'edificio ed individuare i punti fondamentali dell'ottimizzazione. In particolare si individua la soluzione ottimale, quella che si trova nel punto più basso della curva del fronte di Pareto.



Soluzione	CG [€/m ²]	EP [kWh/m ²]	Interventi	U [W/ m ² K]
Edificio esistente	528	448	-	-
Soluzione ottimale	475	325	Cappotto EPS 12cm	0,22
			Isolamento solaio 4 cm	0,30

Soluzione	CG [€/m ²]	EP [kWh/m ²]	Interventi	U [W/ m ² K]
Soluzione più efficiente	492	300	Cappotto 15cm	0,18
			Isolamento del solaio 10cm	0,19
			Isolamento tetto XPS 3cm	0,60
			serramenti PVC + triplo vetro	0,80

È dunque possibile identificare dei gruppi di soluzioni che vengono riassunti nel modo seguente.



Gruppo	Parete	Tetto	Infissi	Solaio	schermatura	EP[kWh/m ²]	GC[€/m ²]
A	15 cm	15 cm	Tipo 3	6 cm	Persiana	302-318	485-505
	15 cm	7 cm	Tipo4	4 cm	-		
	12 cm	7 cm	Tipo3	6 cm	persiana		
	12 cm	esistente	Tipo4	esistente	-		

Gruppo	Parete	Tetto	Infissi	Solaio	schermatura	EP[kWh/m ²]	GC[€/m ²]
	12 cm	esistente	Tipo1	8 cm	-		
	12 cm	esistente	Tipo1	4 cm	persiana		
	12 cm	3 cm	Tipo2	esistente	-		
	12 cm	Esistente	Tipo2	esistente	persiana		
	12 cm	Esistente	Tipo4	4 cm	Persiana		
	15 cm	Esistente	Tipo1	Esistente	-		
	15 cm	7 cm	Tipo 2	8 cm	-		
	15 cm	Esistente	Tipo1	8 cm	Persiana		
	15 cm	esistente	Tipo2	Esistente	Persiana		
B	8 cm	Esistente	Tipo3	Esistente	Persiana	318-330	478-497
	8 cm	15 cm	Tipo4	6 cm	-		
	8 cm	Esistente	Tipo4	Esistente	persiana		
	15 cm	7 cm	Esistente	4 cm	Persiana		
	8 cm	7 cm	Tipo1	Esistente	-		
	8 cm	Esistente	Tipo1	4 cm	Persiana		
	8 cm	Esistente	Tipo2	Esistente	Persiana		
	12 cm	11 cm	Esistente	4 cm	Persiana		
C	8 cm	Esistente	Esistente	4 cm	Persiana	343	478
D	4 cm	15 cm	Esistente	10 cm	persiana	370	497
E	4 cm	15 cm	Tipo1	10 cm	-	345-355	503-515
	4 cm	3 cm	Tipo2	4 cm	-		
	4 cm	Esistente	Tipo4	Esistente	-		
	4 cm	3 cm	Tipo4	6 cm	persiana		
	8 cm	15 cm	Esistente	10 cm	Frangisole		

Gruppo	Parete	Tetto	Infissi	Solaio	schermatura	EP[kWh/m ²]	GC[€/m ²]
	8 cm	3 cm	Esistente	8 cm	frangisole		
	4 cm	15 cm	Tipo3	Esistente	Persiana		
F	12 cm	7 cm	Esistente	4 cm	Frangisole	335	505-510
	12 cm	11 cm	Esistente	4 cm	frangisole		
G	8 cm	7 cm	Tipo3	Esistente	Frangisole	322-325	525
	8 cm	11 cm	Tipo4	6 cm	Frangisole		
	8 cm	Esistente	Tipo2	4 cm	Frangisole		
	8 cm	15 cm	Tipo1	4 cm	Frangisole		
	15 cm	7 cm	Esistente	esistente	Frangisole		
H	12 cm	Esistente	Tipo1	6 cm	Frangisole	305-320	518-538
	12 cm	15 cm	Tipo2	6 cm	Frangisole		
	12 cm	7 cm	Tipo2	Esistente	Frangisole		
	12 cm	7 cm	Tipo1	4 cm	Frangisole		
	15 cm	Esistente	Tipo1	4 cm	Frangisole		
	15 cm	7 cm	Tipo2	4 cm	Frangisole		
	12 cm	Esistente	Tipo4	Esistente	Frangisole		
	12 cm	3 cm	Tipo4	4 cm	Frangisole		
	12 cm	Esistente	Tipo3	Esistente	Frangisole		
	12 cm	Esistente	Tipo3	6 cm	Frangisole		
	15 cm	3 cm	Tipo4	4 cm	Frangisole		
	15 cm	11 cm	Tipo4	6 cm	Frangisole		
	15 cm	7 cm	Tipo3	8 cm	Frangisole		
	15 cm	7 cm	Tipo3	Esistente	Frangisole		
I	4 cm	7 cm	Tipo3	4 cm	Frangisole	350-360	530-542

Gruppo	Parete	Tetto	Infissi	Solaio	schermatura	EP[kWh/m ²]	GC[€/m ²]
	4 cm	11 cm	Tipo3	Esistente	Frangisole		
	4 cm	11 cm	Tipo4	8 cm	Frangisole		
	4 cm	7 cm	Tipo1	10 cm	Frangisole		
	4 cm	15 cm	Tipo2	8 cm	-		
L	4 cm	15 cm	Esistente	8 cm	Frangisole	375	525
M	Esistente	15 cm	Tipo4	6 cm	-	425-430	537-543
	Esistente	7 cm	Tipo2	10 cm	-		
	Esistente	3 cm	Tipo1	Esistente	Persiane		
	Esistente	Esistente	Tipo2	Esistente	Persiane		
N	Esistente	15 cm	Esistente	8 cm	-	450	520-527
	Esistente	7 cm	Esistente	10 cm	Persiane		
O	Esistente	3 cm	Esistente	6 cm	Frangisole	455	555
P	Esistente	15 cm	Tipo2	8 cm	Frangisole	425-437	562-578
	Esistente	15 cm	Tipo1	8 cm	Frangisole		
	Esistente	11 cm	Tipo2	4 cm	Frangisole		
	Esistente	15cm	Tipo4	8 cm	Frangisole		
	Esistente	7 cm	Tipo4	Esistente	Frangisole		
	Esistente	Esistente	Tipo3	8 cm	Frangisole		

L'ottimizzazione ha portato al risultato dopo circa un giorno di calcolo da parte del computer. Può sembrare molto tempo ma in realtà non lo è. Infatti le combinazioni delle misure di efficientamento sono:

	pareti	tetto	solaio	infissi	schermature	TOT
n° comb	5	5	5	5	3	1875

Considerando circa 20 min per combinazione sarebbero stati necessari circa 1 mese di calcolo per poter provare tutte le combinazioni possibili tra le varie misure di efficientamento. Invece, sfruttando l’algoritmo di selezione genetica dopo appena 18 ore abbiamo trovato la soluzione ottimale, risparmiando così 29 giorni di lavoro. Un ulteriore vantaggio è la facilità con cui si possono gestire i dati avendo l’output del calcolo riassunto in un solo grafico interattivo. Le potenzialità di questo strumento nell’orientare le decisioni progettuali sono notevoli, in quanto consente di perseguire almeno 2 obiettivi tra loro contrastanti andando a trovare la soluzione ottimale in un tempo relativamente breve. Ovviamente questo richiede competenze elevate ed una certa qualità dei dati da inserire nel modello.

10.4.4 Comfort adattivo

Parallelamente agli obiettivi di efficientamento energetico , ci sono quelli relativi al comfort interno degli edifici. Infatti se è vero che da un lato è necessario risparmiare energia , dall’altro è importante mantenere alti i livelli di comfort ambientale interno. Il comfort e la performance energetica di un edificio sono strettamente correlati tra loro. Infatti la categoria dell’edificio definisce i livelli di comfort , i requisiti dell’ambiente interno , i quali influenzano direttamente i consumi energetici.

Category	Level of expectation
IEQ _I	High
IEQ _{II}	Medium
IEQ _{III}	Moderate
IEQ _{IV}	Low

Inoltre le condizioni climatiche interne influiscono direttamente sulla salute, sulla produttività e sul comfort degli occupanti. L’aumento delle condizioni di comfort e l’efficientamento energetico , sono due obiettivi tra loro contrastanti, e per questo motivo è necessario perseguire un giusto trade-off tra questi bisogni opposti. In generale il comfort fa riferimento a diversi aspetti del benessere, quello luminoso , acustico , di qualità dell’aria e termico. Ai fini del presente lavoro ci si concentrerà su quello termico andando a valutare la percentuale di ore di discomfort utilizzando il metodo adattivo.

Per la valutazione del comfort termico gli indici più importanti sono il PMV ed il PPD (il voto medio previsto e la percentuale prevista di insoddisfatti) , ma che non considerano l’adattamento. Da studi effettuati su gruppi di persone e varie sperimentazioni fatte da diversi scienziati è stata introdotta la teoria del comfort adattivo. L’adattamento è un aggiustamento

psicologico , fisiologico , del comportamento, degli occupanti nei confronti delle condizioni dell'ambiente interno. Ciò vuol dire che l'occupante è più esigente se il clima interno è controllato automaticamente, invece se il controllo del clima è affidato all'individuo attraverso l'accensione e spegnimento dell'impianto o apertura e chiusura delle finestre ecc.. sarà meno esigente. Il metodo adattivo è utilizzabile per edifici al cui interno vengono svolte attività sedentarie e le condizioni interne sono definite degli occupanti , i quali possono adattare liberamente il vestiario e aprire e chiudere liberamente le finestre.

In pratica il concetto di PMV all'interno di questa teoria è sostituito da quello di Temperatura Ottimale. Questa è una temperatura che dipende da molti fattori, tra cui il più importante è la temperatura esterna. Esiste infatti una correlazione tra la temperatura ottimale e la temperatura esterna. Attenzione però alla temperatura esterna da considerare, perché quella da prendere in considerazione non è quella attuale in questo preciso momento bensì la così detta "outdoor mean running temperature".

La outdoor mean running temperature è definita come una serie, in cui ci sono le temperature medie giornaliere dei giorni precedenti.

$$\theta_{rm} = (1 - \alpha) \sum_{j=1}^{\infty} \theta_{ed-j} \alpha^{j-1}$$

La cui formula approssimata considera le temperature dei sette giorni precedente ed assume la forma:

$$\theta_{rm} = (\theta_{ed-1} + 0,8 \theta_{ed-2} + 0,6 \theta_{ed-3} + 0,5 \theta_{ed-4} + 0,4 \theta_{ed-5} + 0,3 \theta_{ed-6} + 0,2 \theta_{ed-7}) / 3,8$$

Dove il pedice "ed" sta per external daily, ed i vari coefficienti vengono fuori dal troncamento della serie. È possibile quindi ricavare la temperatura di comfort θ_c come:

$$\theta_c = 0,33 \theta_{rm} + 18,8$$

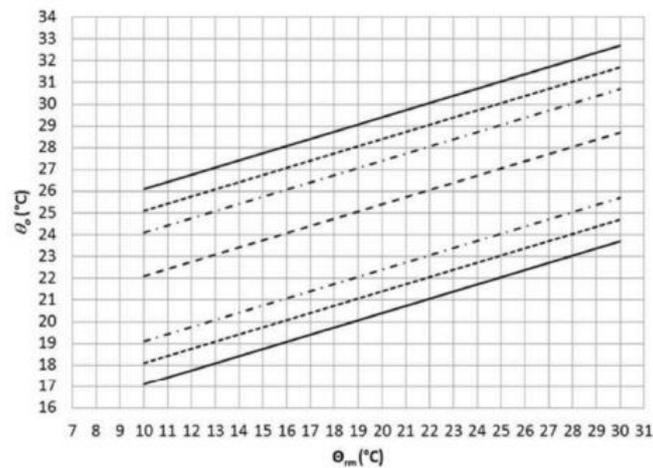


Figura 74 range delle categorie I, II, III

Ci sono poi tre range che si riferiscono alle categorie I , II e III. Si ha comfort maggiore nella categoria III. Di seguito le tre categorie:

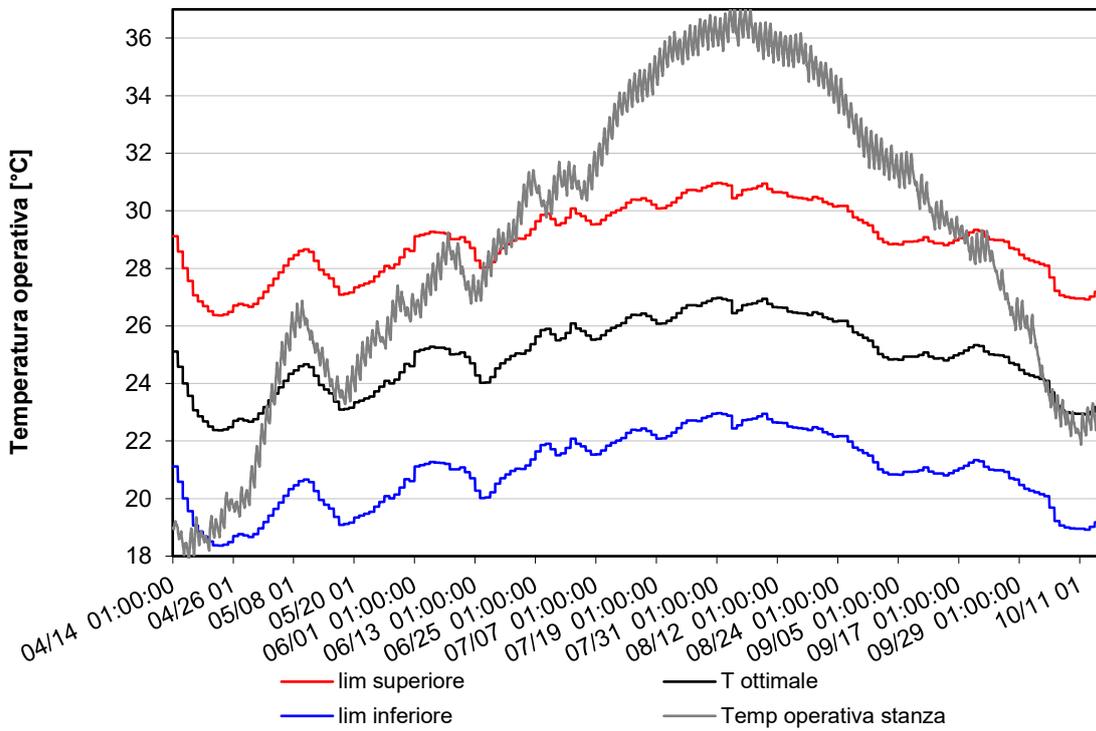
Category I	upper limit:	$\theta_o = 0,33 \theta_{rm} + 18,8 + 2$
	lower limit:	$\theta_o = 0,33 \theta_{rm} + 18,8 - 3$
Category II	upper limit:	$\theta_o = 0,33 \theta_{rm} + 18,8 + 3$
	lower limit:	$\theta_o = 0,33 \theta_{rm} + 18,8 - 4$
Category III	upper limit:	$\theta_o = 0,33 \theta_{rm} + 18,8 + 4$
	lower limit:	$\theta_o = 0,33 \theta_{rm} + 18,8 - 5$

Un esempio della teoria del comfort adattivo è che si hanno temperature di comfort minori se le temperature medie giornaliere dei giorni precedenti sono state particolarmente fredde.

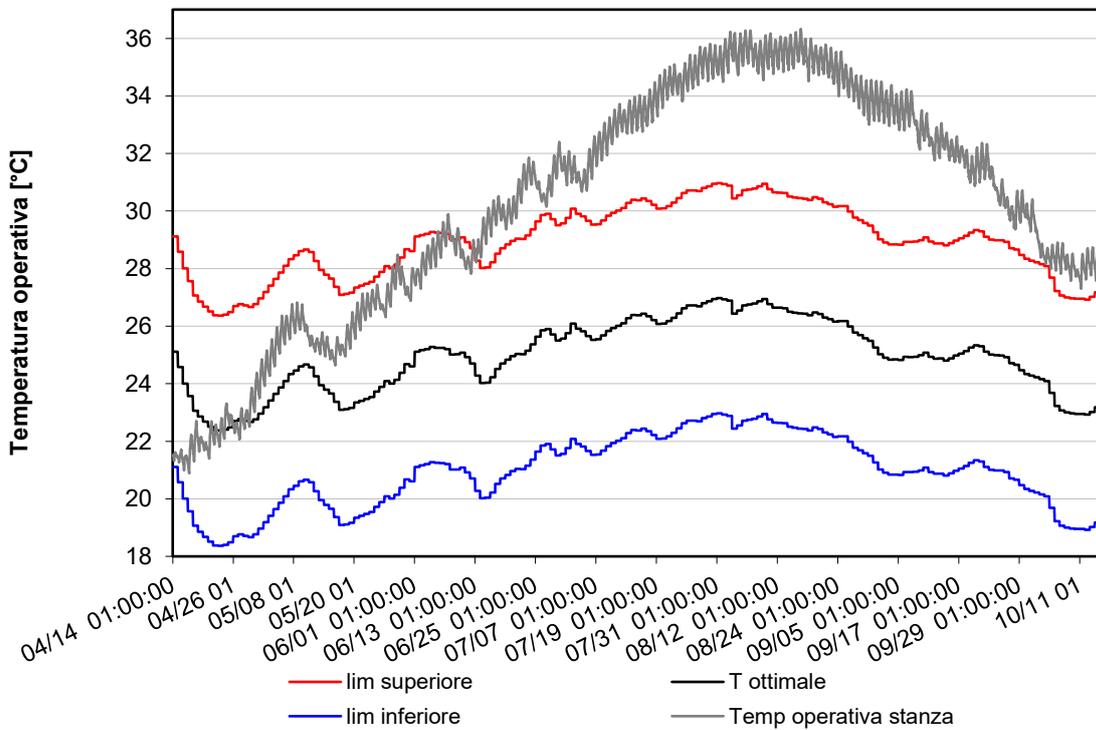
Definendo la categoria è quindi possibile stabilire se siamo all'interno del range stabilito e determinare così la percentuale delle ore di discomfort sulla base del periodo di tempo in cui si cade al di fuori di tale range.

Dalla simulazione oraria dell'edificio esistente otteniamo che nei mesi di luglio ed agosto si hanno delle temperature superiori a quelle della soglia massima e quindi l'ambiente interno risulta non confortevole. Dagli altri modelli relativi all'edificio ottimale e performante si hanno soluzioni non confortevoli con % diverse che vediamo di seguito nei grafici.

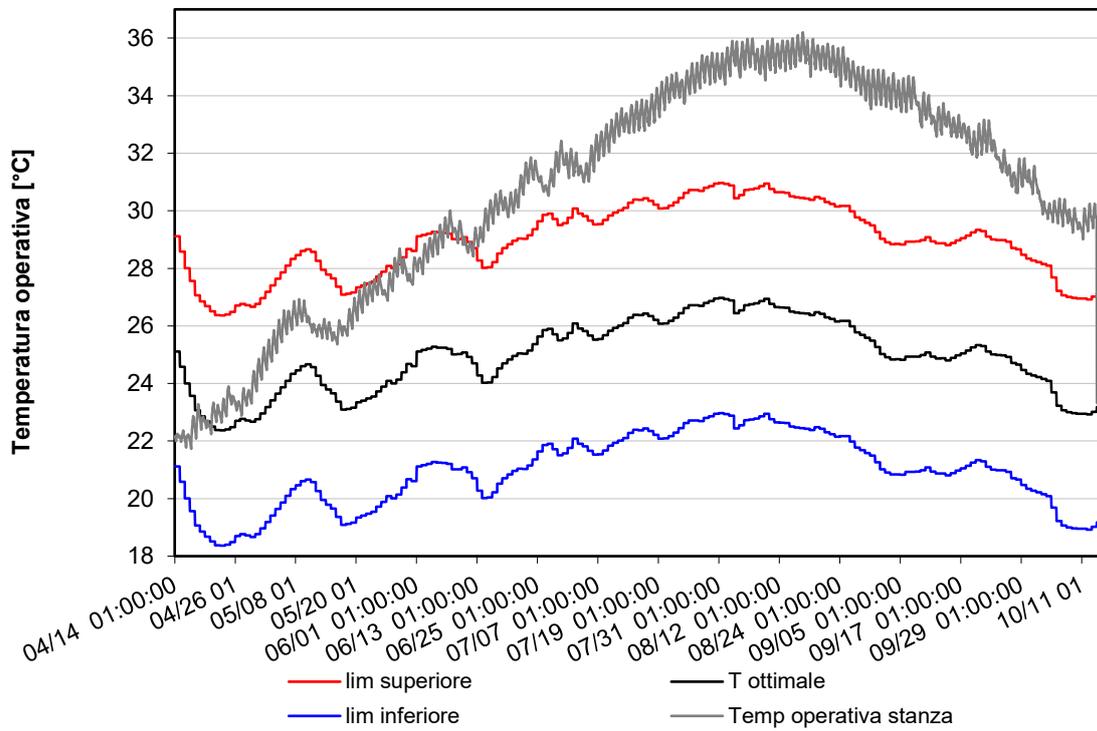
**ZONA DI COMFORT SECONDO IL MODELLO ADATTIVO,
EDIFICIO ESISTENTE**



**ZONA DI COMFORT SECONDO IL MODELLO ADATTIVO,
SOLUZIONE OTTIMALE**



**ZONA DI COMFORT SECONDO IL MODELLO ADATTIVO,
SOLUZIONE PIU PERFORMANTE**

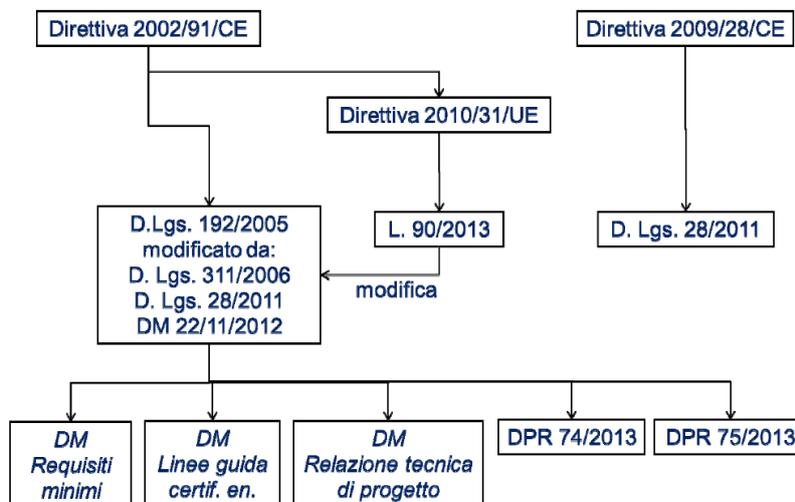


Modello	Categoria	% ore di discomfort	Tipo	soglia accettabile
Edificio esistente	III	51	Surriscaldamento	<= 10%
		4	raffreddamento	
Soluzione ottimale	III	69	Surriscaldamento	<= 10%
		0	raffreddamento	
Soluzione efficiente	III	70	Surriscaldamento	<= 10%
		0	raffreddamento	

Da un punto di vista del confort , l'edificio esistente risulta essere quello che minimizza la percentuale delle ore di discomfort dunque la soluzione migliore.

10.4.1 Verifiche legislative

A livello legislativo, per quanto riguarda il nostro paese, è possibile riassumere i provvedimenti più importanti riguardanti ovviamente il tema dell'efficienza energetica in edilizia, nel seguente schema. Notiamo in alto le direttive europee, ed in basso i relativi recepimenti nazionali. A destra distinguiamo i provvedimenti riguardanti più specificatamente le fonti rinnovabili, mentre sulla sinistra quelli relativi all'edificio. Di particolare importanza è il DM dei requisiti minimi del 26/giugno/2015 il quale stabilisce i requisiti energetici che devono avere i nuovi edifici e quelli soggetti a ristrutturazione.



La legislazione energetica si muove in parallelo con gli altri regolamenti edilizi, ed in particolare per quanto riguarda la tipologia di interventi che si possono realizzare si schematizzano così come indicato in figura. Distinguendo tra ristrutturazione importante di primo e secondo livello, e riqualificazione energetica a seconda della percentuale di involucro coinvolto ed in base al coinvolgimento o meno del sistema impiantistico destinato alla climatizzazione.

		Frazione della superficie disperdente lorda complessiva dell'edificio interessata dalla ristrutturazione dell'involucro (f)		
		f > 50%	25 < f ≤ 50%	f ≤ 25%
Ristrutturazione dell'impianto termico per il servizio di climatizzazione invernale e/o estiva asservito all'intero edificio	Si	Ristrutturazione importante di primo livello	Ristrutturazione importante di secondo livello	Riqualificazione energetica
	No			

È importante sapere in quale intervento si rientra perché cambiano i parametri da rispettare. In questo caso l'ottimizzazione è stata fatta sui componenti d'involucro per cui considerando come

probabili interventi quello Cost-Optimal e quello più performante, si ricade nel caso di ristrutturazione importante di secondo livello. I parametri da rispettare in questo caso sono schematizzati nella tabella seguente e sono H'_T (coefficiente medio globale di scambio termico per trasmissione), U (trasmittanza), g_{gl+sh} (fattore di trasmissione solare totale) i quali vanno verificati limitatamente ai componenti d'involucro oggetto d'intervento.

RISTRUTTURAZIONE IMPORTANTE DI SECONDO LIVELLO			
REQUISITO	u.m.	LIMITE	
$H'_T < H'_{limite}$	$[W/m^2 K]$	0,65	
$U < U_{limite}$	$[W/m^2 K]$	0,26	coperture
		0,30	pareti
		1,90	serramenti
$g_{gl+sh} < g_{gl+sh,limite}$	-	0,35	

Si procede dunque alla costruzione del nuovo modello tramite software commerciale Termolog, al fine di calcolare la classe energetica dell'edificio esistente, e di effettuare le verifiche dell'edificio cost-optimal e di quello performante. Ovviamente nel caso di edificio esistente i parametri relativi all'involucro non rispettano gli attuali limiti della normativa vigente. Mentre l'edificio attuale risulta appartenere ad una classe energetica G.

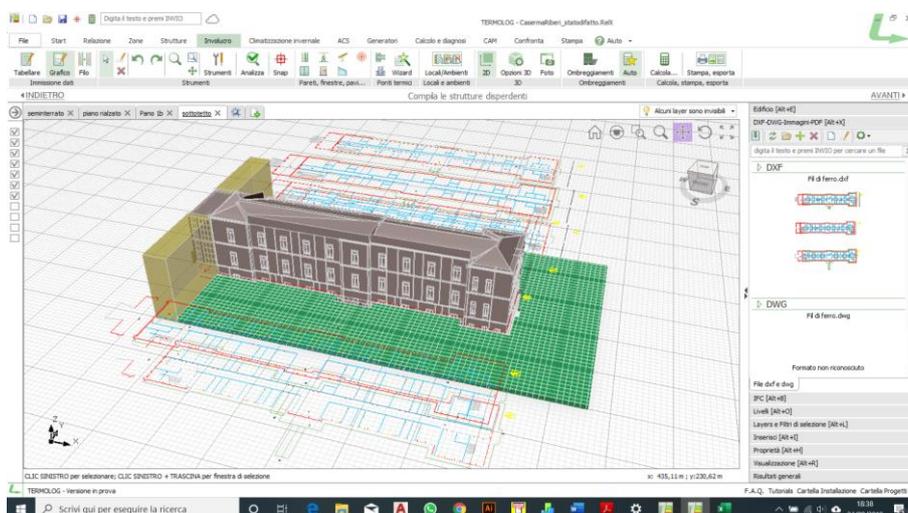


Figura 75 Termolog, modello dell'edificio

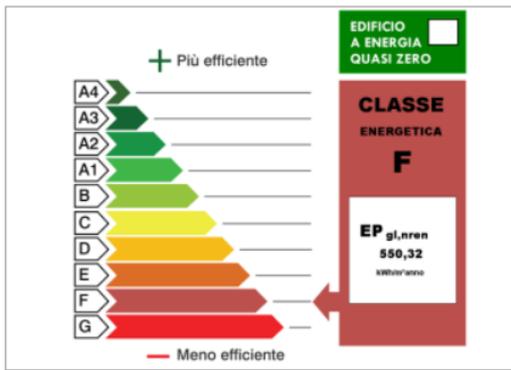


Figura 77 Termolog, classe energetica edificio esistente



Figura 76 Termolog, classe energetica della soluzione ottimale

Applicando le misure previste dalla soluzione ottimale dell'ottimizzazione (vedere tabella al capitolo precedente) si calcola la classe energetica e si effettua la verifica del H'_T sui componenti oggetto d'intervento ovvero le pareti esterne ed il solaio del sottotetto. Come si nota dalla figura seguente, si riscontra un risparmio dei consumi energetici dimostrato oltretutto dal salto di classe dalla F alla classe E.

in questo caso il valore di trasmittanza della parete soddisfa il requisito minimo di legge, mentre il valore del solaio del sottotetto è da intendersi quello del tetto ($0,26 / b_{tr}$), dove $b_{tr} = 0,9$ (nel caso di sottotetto confinante con tetto non isolato). Perciò il valore limite di $0,29 [W/m^2 K]$ non è rispettato per solo $0,1 [W/m^2 K]$ in quanto il solaio isolato assume valore pari ad $0,3 [W/m^2 K]$. Nel caso della soluzione performante si riscontra un ulteriore salto di classe, dalla E alla D con un notevole risparmio.

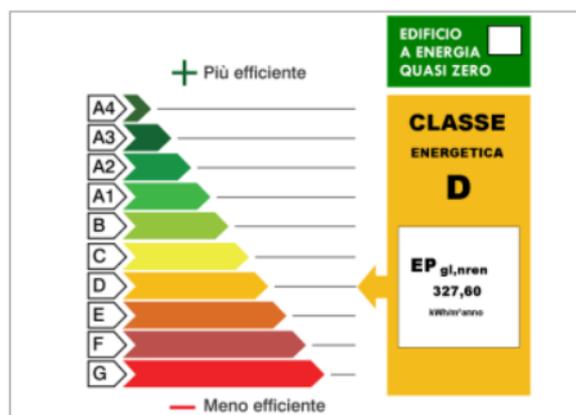


Figura 78 Termolog, classe energetica soluzione performante

Nella tabella seguente vengono sintetizzati i risultati delle simulazioni condotte tramite il software Termolog sull'edificio esistente, nella sua configurazione Cost-Optimal e performante.

Parametro	Edificio esistente	Soluzione ottimale	Soluzione performante
Classe energetica			
H'T	Non Verificato	verificato	verificato
U	Parete	Non Verificato	verificato
	Tetto	Non Verificato	Non Verificato
	Solaio	Non Verificato	verificato
	Infissi	Non Verificato	verificato
g_{gl+sh}	Non Verificato	Non Verificato	verificato

Per quanto riguarda i Requisiti degli edifici a energia quasi zero (nZEB), In base al d.lgs. 192/2005 e s.m.i. sono da definirsi “edifici a energia quasi zero” tutti gli edifici, siano essi di nuova costruzione o esistenti, in cui sono contemporaneamente rispettati i seguenti requisiti, ovvero il rispetto dei valori limite dei seguenti parametri, determinati con i valori vigenti dal 1° gennaio 2019 per gli edifici pubblici e dal 1° gennaio 2021 per tutti gli altri edifici:

- Coefficiente medio globale di scambio termico per trasmissione per unità di superficie disperdente ($H'T$)
- Area solare equivalente estiva per unità di superficie utile ($A_{sol,est}/A_{sup,utile}$)
- Indici di prestazione termica utile per riscaldamento e raffrescamento ($EP_{H,nd}$, $EP_{C,nd}$)
- Efficienza media stagionale degli impianti di climatizzazione invernale (η_H), di climatizzazione estiva (η_C) e di produzione di acqua calda sanitaria (η_W)
- Indice di prestazione energetica globale dell'edificio ($EP_{gl,tot}$)

Parametro	Edificio esistente	Soluzione ottimale	Soluzione performante
$A_{sol,est}/A_{sup,utile}$	Non Verificato	Non Verificato	verificato
$H'T$	Non Verificato	verificato	verificato

Parametro	Edificio esistente	Soluzione ottimale	Soluzione performante
$EP_{H,nd}$	Non Verificato	Non verificato	verificato
$EP_{C,nd}$	Non Verificato	Non Verificato	Non Verificato
η_H	Non Verificato	Non Verificato	Non Verificato
η_c	Non Verificato	Non Verificato	Non Verificato
η_w	Non Verificato	Non Verificato	Non Verificato
$EP_{gl,tot}$	Non Verificato	Non Verificato	Non Verificato

In caso di allaccio alla rete del teleriscaldamento invece non è necessario verificare le limitazioni riguardanti la copertura, tramite il ricorso ad energia prodotta da impianti alimentati da fonti rinnovabili, delle seguenti quote:

- 50% dei consumi previsti per l'acqua calda sanitaria
- 50% della somma dei consumi previsti per l'acqua calda sanitaria, il riscaldamento e il raffrescamento

Come si può notare ovviamente l'edificio non risulta essere nZEB, infatti le perdite impiantistiche sono notevoli e sarebbe dunque necessario un intervento di efficientamento delle tubazioni al fine di migliorare la performance dell'edificio e fare in modo che si avvicini o raggiunga i limiti del Nearly Zero Energy Building. Di contro l'isolamento dell'involucro ha reso l'edificio di ottima qualità nei confronti della performance invernale, mentre ancora qualcosa occorrerebbe fare nei confronti della performance estiva al fine di soddisfare $EP_{C,nd}$.

11. Conclusioni

Al termine di questo studio sul comportamento termo-energetico della caserma Riberi si sono evidenziate numerose criticità. L'edificio infatti si presenta come molto energivoro e poco efficiente sia per quanto riguarda la parte fabbricato, sia la parte impiantistica.

La soluzione ottimale trovata per il fabbricato consente di ottenere un miglioramento della prestazione energetica dell'edificio ed allo stesso tempo un miglioramento delle condizioni di comfort nel regime estivo. Ovviamente da un punto di vista impiantistico, date le enormi dispersioni dovute probabilmente alla mancanza di isolamento della rete di distribuzione del teleriscaldamento, si consiglia quantomeno un intervento di ripristino e di coibentazione delle tubazioni stesse al fine di ridurre tali perdite.

Ovviamente quanto emerso da questo studio e l'affidabilità dei risultati dipendono molto dalla qualità dei dati di input. Infatti non mancano criticità in questo senso, sia per quanto riguarda i dati relativi ai parametri termo-energetici dei materiali inseriti nel software sia per quanto riguarda le schedule ed i profili di utilizzo dell'edificio da parte degli utenti. Ovviamente la fase di calibrazione è stata molto utile ed ha permesso di affinare e correggere tali dati al fine di ottenere un modello abbastanza simile all'edificio reale, però ovviamente rimane sempre un certo margine di incertezza. Un'ulteriore criticità è rappresentata dalla lettura dei consumi energetici misurati, infatti essi si riferiscono a tutti gli edifici che fanno parte della caserma e non solo del padiglione M oggetto di studio.

Nonostante ciò è stato possibile effettuare la diagnosi energetica con relativa fase di calibrazione ed ottimizzazione delle misure di efficientamento con l'ottenimento di risultati soddisfacenti, per lo meno personalmente parlando. Infatti, aver avuto la possibilità grazie al Politecnico di Torino di poter utilizzare un software così potente come DesignBuilder è stato davvero interessante e molto formativo. Se penso che fino a meno di due anni fa non avevo neppure idea di cosa significasse la frase "bilancio termico di una zona termica" direi che mi ritengo personalmente soddisfatto e contento del percorso fatto.

Molto interessante è stato affrontare un argomento del tutto nuovo, ovvero quello dell'ottimizzazione. Le potenzialità di questo strumento infatti sono notevoli e sorprendenti. Può essere utilizzato dal privato, singolo investitore, per orientare le proprie decisioni, ma anche dalle pubbliche amministrazioni e dai governi per orientare le proprie politiche e linee d'azione.

12. Ringraziamenti

Ovviamente come me e come ogni altro studente che si laurea al Politecnico di Torino, non rappresenta solo i frutti del proprio impegno e sforzi personali. Certo, questi rappresentano una grossa fetta ma non sono gli unici. È per questo motivo che ritengo importante fare dei ringraziamenti.

L'impegno durante questi due anni di magistrale è stato notevole e le difficoltà incontrate non sono state poche. Se sono arrivato fin qui vuol dire che sono state tutte superate. Tutto questo ovviamente sia grazie al supporto della famiglia, della mia ragazza, dei compagni di corso che mi hanno accompagnato durante lo svolgimento di tutte le singole esercitazioni ed anche grazie ai docenti che con il loro lavoro e competenze ci hanno fornito gli strumenti utili ad affrontare tutte le prove sostenute fin ora. Il tema dell'efficienza energetica in edilizia è un argomento che mi ha sempre interessato, sin da prima che mi iscrivessi alla facoltà di ingegneria. Ovviamente allora, poco conoscevo in merito, ma ora che conosco qualcosa in più ho la sensazione che le conoscenze che mi mancano in tema di energia siano ancora maggiori. Ciò che trovo molto interessante, in realtà, sono le smart-grid e gli edifici smart al centro di uno sviluppo sostenibile futuro. L'idea di avere degli edifici molto efficienti sparsi per il pianeta che producono energia da immettere in una rete comune è un'immagine che mi affascina molto. Ma non vorrei divagare molto ed arrivo al dunque, ringraziando tutti coloro che mi hanno sostenuto.

Un ringraziamento particolare volgo ai docenti del corso di Energy Audit che mi hanno accompagnato direttamente in questa fase finale del percorso formativo, quindi il Prof. Ing. Vincenzo Corrado, Ing. Ilaria Ballarini e Arch. Giovanna De Luca. Li ringrazio quindi per i loro insegnamenti e soprattutto per la pazienza mostrata nei miei confronti durante i vari ricevimenti. Ringrazio anche il Politecnico di Torino, quale istituzione pubblica, per i servizi offerti, molto utili ed apprezzati durante la personale fase formativa, in questo caso. Ringrazio la mia famiglia che mi ha sempre sostenuto sia da un punto di vista morale ma anche economico dandomi la possibilità di poter essere oggi qui a Torino in veste di Laureando presso il Politecnico. In ultimo, ma non certo per importanza, ringrazio la mia ragazza, Maria Lamboglia ("la patatona mia" 😊), per la sua pazienza mostrata durante il periodo formativo e di essermi stata accanto nei momenti difficili. La ringrazio quindi per il suo continuo supporto morale, psicologico ed affettivo. Concludo quindi con un enorme : Grazie !

13. Bibliografia & sitografia

- SPECIFICA TECNICA UNI/TS 11300-1:2014 Prestazioni energetiche degli edifici Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale
- SPECIFICA TECNICA UNI/TS 11300-2:2014 Prestazioni energetiche degli edifici Parte 2: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale, per la produzione di acqua calda sanitaria, per la ventilazione e per l'illuminazione in edifici non residenziali
- SPECIFICA TECNICA UNI/TS 11300-3:2010 Prestazioni energetiche degli edifici Parte 3: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione estiva
- SPECIFICA TECNICA UNI/TS 11300-4:2012 Prestazioni energetiche degli edifici Parte 4: Utilizzo di energie rinnovabili e di altri metodi di generazione per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria
- SPECIFICA TECNICA UNI/TS 11300-5 Prestazioni energetiche degli edifici Parte 5: Calcolo dell'energia primaria e dalla quota di energia da fonti rinnovabili
- EnergyPlus™ Version 9.1.0 Documentation Engineering Reference U.S. Department of Energy
- PREZZARIO della REGIONE PIEMONTE 2018
- DesignBuilder EnergyPlus Simulation Documentation for DesignBuilder v5
- Appunti del corso "Termofisica dell'edificio" , docenti Prof. Vincenzo Corrado & Marco Perino
- Appunti del corso "Energy Audit and Certification of Building" , docenti , Prof. Vincenzo Corrado, Prof.ssa Ilaria Ballarini
- QEI quaderni di economia immobiliare, trattamento delle componenti di costo nella valutazione della sostenibilità dei progetti, estimo e life cycle thinking. Prof. Elena Fregonara
- Fondamenti di termofisica dell'edificio e climatizzazione. CLUT. Prof. Vincenzo Corrado & Fabrizio Enrico
- Applicazioni di termofisica dell'edificio e climatizzazione. CLUT. Prof. Vincenzo Corrado & Fabrizio Enrico

- EN 15459:2006 Energy Efficiency for Buildings — Standard economic evaluation procedure for energy systems in buildings
- EN 15251 Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics
- Rapporto annuale efficienza energetica 2019. Analisi dei risultati delle policy di efficienza energetica del nostro paese. ENEA agenzia nazionale efficienza energetica
- A Fast and Elitist Multiobjective Genetic Algorithm: NSGA-II Kalyanmoy Deb, Associate Member, IEEE, Amrit Pratap, Sameer Agarwal, and T. Meyarivan
- Selected Topics in Decision Modeling Prof. Biswajit Mahanty Department of Industrial and Systems Engineering Indian Institute of Technology, Kharagpur Lecture – 39 Multi-Objective Optimization. Lecture – 40 NSGA – II Examples
- EnergyPlus per stimare i consumi energetici. Potenzialità, criticità e utilizzo del software di simulazione dinamica. Fabrizio Enrico.
- Guidi, Guido, Opere culturali ed assistenziali devastate dalla guerra, in «Torino. Rivista mensile municipale», A. XXV, n. 9, settembre, 1949, Torino,
- Politecnico di Torino. Dipartimento Casa Città, Beni culturali ambientali nel Comune di Torino, Vol. 1, Società degli ingegneri e degli architetti in Torino, Torino 1984
- Fara, Amelio, La metropoli difesa. Architettura militare dell'Ottocento nelle città capitali d'Italia, Stato maggiore dell'Esercito. Ufficio Storico, Roma 1985 , pp. 9-13
- Borasi, Vincenzo, La presenza dei militari, in Bracco, Giuseppe - Comoli Mandracci, Vera (a cura di), Torino da capitale politica a capitale dell'industria. Il disegno della città (1850-1940), Vol. 1, Archivio storico della Città di Torino, Torino 2004, pp. 167-186
- Dianzani, Mario Umberto, Alessandro Riberi: un mito nella medicina torinese dell'800, Accademia di medicina di Torino, Torino 2007
- Cadeddu, Paolo, Le caserme di piazza d'Armi a Torino: La Marmora (Monte Grappa) - Dabormida - Morelli di Popolo - Ospedale militare Riberi, D. Piazza, Torino 2008 , pp. 111-139
- Rosato, Salvatore, La Scuola di applicazione di Torino tra Otto e Novecento: formazione e campi di ricerca in ambito militare, Tesi di laurea, Politecnico di Torino, Facoltà di Architettura, a.a. 1998/99, relatore Vera Comoli Mandracci , pp. 227- 229

- <http://www.designbuilderitalia.it/>
- <http://www.perfectview.ro/it/>
- <http://www.mminfissi.it/>
- <https://www.guardianglass.com/eu/en>
- <https://bigladdersoftware.com/projects/elements/>
- <https://energyplus.net/>
- <http://www.enea.it/it>
- <http://www.museotorino.it>