

# **POLITECNICO DI TORINO**

**Corso di Laurea Magistrale  
in Ingegneria Edile**



**L'ottimizzazione della prestazione energetica nel protocollo  
LEED: applicazione ad un edificio per uffici.**

**Relatore**

prof. Enrico Fabrizio

**Correlatore**

arch. Carlo Micono

**Candidato**

Antonio Travaglia

Ottobre 2023



# INDICE

ABSTRACT .....	1
1 CERTIFICAZIONE LEED .....	2
1.1 Principali linee guida della certificazione LEED .....	3
1.2 Focus sezione Energia e Atmosfera.....	5
1.2.1 Focus V.4. Minimum energy performance required.....	7
1.2.2 Focus V.4. Optimize energy performance.....	8
1.3 Definizione del <i>Proposed</i> e del <i>Baseline</i> .....	11
1.3.1 Introduzione all'appendice G .....	11
1.3.2 G2 Requisiti generali per la simulazione.....	12
1.3.3 G3 Calcolo delle prestazioni dell'edificio di progetto e di riferimento .....	14
2 CERTIFICAZIONI DI SOSTENIBILITÀ .....	21
2.1 Introduzione al BREEAM .....	24
2.1.1 La sezione Energy e il credito Reduction of energy use and carbon emission .....	26
2.2 Introduzione ad ITACA.....	29
2.2.1 Consumo di risorse e carichi ambientali.....	34
2.3 Confronto tra certificazioni .....	39
2.4 LEED BREEAM e ITACA .....	41
2.4.1 Impatto della sezione energia nelle certificazioni.....	43
2.4.2 Modalità di calcolo e normativa di riferimento .....	46
3. IES VE .....	47
3.1 Il software IES virtual environment .....	48
3.1.1 IES VE Apache. Metodo di calcolo .....	52
3.2 IES Navigators ASHRAE.....	59
4 CASO STUDIO .....	63
4.1 Modellazione geometrica, Room Group e Stratigrafie.....	68
4.1.1 Modellazione geometrica .....	68
4.1.2 Room Group.....	70
4.1.3 Stratigrafie.....	74
4.2 Internal gains e Template .....	82
4.2.1 Internal gains.....	82
4.2.2 Profili di utilizzo .....	88
4.3 Impianti per la climatizzazione.....	94
4.3.1 Proposed.....	95
4.3.2 Baseline.....	105
5 RISULTATI .....	107
5.1 Consumi di Equipment.....	108
5.2 Consumi Lights .....	109
5.3 Consumi Elevators.....	110
5.4 Consumi Auxiliary system .....	111
5.5 Consumi Service Water Heating .....	114

5.6	Consumi Cooling space.....	115
5.7	Consumi Heating space.....	118
5.8	Risultato finale e Punteggio.....	120
5.9	Strategie di miglioramento .....	123
5.9.1	Efficientamento impianto di raffrescamento .....	123
5.9.2	Integrazione impianto fotovoltaico.....	127
5.9.3	Combinazione dei due interventi.....	128
6	DISCUSSIONE .....	130
6.1	Aspetti positivi.....	130
6.2	Aspetti negativi.....	131
6.2.1	I ponti termici.....	133
6.2.2	LEED e resilienza .....	136
6.2.3	Il ruolo delle rinnovabili nel Baseline .....	140
	CONCLUSIONI.....	142

## **ABSTRACT**

Lo scopo della presente tesi è quello di valutare l'efficienza della certificazione di sostenibilità ambientale LEED in termini riduzione di emissioni e consumo di energia di tutti i sistemi energivori a servizio dell'edificio.

Nella fattispecie si è deciso di valutare i risultati ottenuti a seguito della progettazione finalizzata all'ottenimento della certificazione LEED di un edificio con prevalente destinazione d'uso "Ufficio" sito nel Nord Italia. Attraverso un'analisi comparativa teorica è stata raffrontata la sezione legata al risparmio di energia dello standard americano con le corrispettive sezioni delle certificazioni BREEAM e ITACA, al fine di valutare il peso che il risparmio di energia porta con sé all'interno delle certificazioni, indagando inoltre i diversi metodi di valutazione di tale risparmio. Successivamente con l'ausilio del programma di modellazione energetica dinamica IES VE, è stato ripercorso l'iter di modellazione del sistema involucro-impianto suggerito dallo standard LEED e dalla normativa ASHRAE 90.1-2010 fino all'ottenimento del risparmio dato dal modello di progetto, detto anche Proposed, rispetto al modello di riferimento chiamato Baseline.

Ottenuti i risultati di consumo dell'energia è stata effettuata un'analisi dei consumi dei singoli servizi e delle relative percentuali di miglioramento. Al termine del processo di analisi è stato determinato il punteggio ottenuto per il credito Optimize Energy Performance in relazione alla percentuale di miglioramento ottenuta. Sulla base dei risultati di consumo ottenuti è stato effettuato un approfondimento circa le possibili strategie da predisporre per migliorare le prestazioni dell'edificio e conseguentemente aumentare il punteggio ottenuto.

A conclusione dell'elaborato sono state effettuate delle riflessioni circa gli aspetti deboli del credito Optimize Energy Performance e della sezione Energia e Atmosfera, per ogni considerazione è stata proposta una soluzione finalizzata al superamento del problema riscontrato.

# 1 CERTIFICAZIONE LEED

Il sistema di certificazione LEED (acronimo di Leadership in Energy and Environment Design) è un sistema di classificazione americano che mira a valutare, attraverso un rigido protocollo, l'efficienza energetica e l'impronta ecologica degli edifici. L'ente che ha sviluppato questo standard di classificazione è il US Green Building Council (USGBC) impegnato, oltre che nella gestione del progetto LEED, con continui aggiornamenti e revisioni, anche nel fornire percorsi formativi e promuovere iniziative culturali nell'ambito della sostenibilità ambientale. La certificazione LEED è oggi il sistema di valutazione di edifici Green più utilizzato al mondo, si contano infatti più di 15000 stakeholders affiliati ed un numero considerevole di mq che ogni giorno vengono certificati LEED.

Lo standard si propone come uno standard a base volontaria, che indica come linea guida per la sostenibilità l'utilizzo di un approccio olistico e interdisciplinare che coinvolga professionisti con diverse competenze al fine di valutare i possibili risparmi derivanti dall'impiego di strategie specifiche in settori chiave come, il risparmio energetico ed idrico, il miglioramento della qualità ecologica degli interni, la scelta del sito di costruzione e la riduzione di CO<sub>2</sub>.

La sfida lanciata con lo standard LEED è quella coniugare la sostenibilità ambientale con le esigenze del mercato immobiliare internazionale, attribuendo con l'ottenimento del certificato uno status di alta qualità agli edifici che superano il processo di certificazione. Inoltre grazie al lavoro di ricerca che ha portato alla definizione dello standard e che porta a continue revisioni dello stesso, viene iterativamente proposto un nuovo paradigma di progettazione sostenibile che amplia le conoscenze e indirizza gli stati nazionali verso nuove e più moderne leggi in materia di efficienza energetica.

L'intento dell'USGBC è quindi quello di promuovere una trasformazione radicale del settore delle costruzioni al fine di contribuire al raggiungimento dei seguenti obiettivi:

- invertire il cambiamento climatico;
- migliorare il benessere umano;
- proteggere e ripristinare le risorse idriche;
- proteggere, accrescere e ripristinare la biodiversità e l'ecosistema;
- promuovere l'utilizzo di materiali sostenibili e riciclabili;

- costruire un'economia più verde;
- aumentare equità sociale, la giustizia ambientale, la salute e la qualità della vita;

## **1.1 Principali linee guida della certificazione LEED**

Il sistema di certificazione LEED offre la possibilità di utilizzare diverse versioni, le più recenti sono la v4.0 e la v4.1, queste seguono rispettivamente la normativa ASHRAE 90.1 del 2010 e del 2016. Entrambe le versioni sono suddivise in 7 sezioni all'interno delle quali vengono definiti dei prerequisiti e dei crediti.

I prerequisiti di ogni sezione rappresentano il minimo livello da garantire per ogni strategia affinché l'intero edificio possa essere certificato, e questi sono dunque obbligatori.

I crediti sono invece facoltativi e vengono tipicamente scelti in base delle caratteristiche del progetto.

All'interno della stessa sezione vengono inseriti tutti i prerequisiti e crediti la cui osservanza contribuisce ad ottenere lo stesso obiettivo. Le sezioni sono:

1. **Sostenibilità del Sito (1 prerequisito, 8 crediti – max 26 punti):** questa sezione affronta gli aspetti ambientali legati al sito entro il quale verrà costruito l'edificio e al rapporto di questo con l'intorno. Gli obiettivi sono limitare l'impatto generato dalle attività di costruzione, controllare il deflusso delle acque meteoriche, stimolare modalità e tecniche costruttive rispettose degli equilibri dell'ecosistema.
2. **Gestione delle Acque (1 Prerequisito, 3 Crediti – max 10 punti):** questa sezione approccia le tematiche ambientali legate all'uso, alla gestione e allo smaltimento delle acque negli edifici monitorando l'efficienza dei flussi d'acqua e promuovendo la riduzione dei consumi idrici e il riutilizzo delle acque meteoriche.
3. **Energia ed Atmosfera (4 Prerequisiti, 6 Crediti – max 35 punti):** in questa sezione viene promosso il miglioramento delle prestazioni energetiche degli edifici, l'impiego di energia proveniente da fonti rinnovabili o alternative e il controllo delle prestazioni energetiche dell'edificio.
4. **Materiali e Risorse (1 Prerequisito, 7 Crediti – max 14 punti):** in quest'area vengono prese in considerazione le tematiche ambientali correlate alla selezione

dei materiali, alla riduzione dell'utilizzo di materiali vergini, allo smaltimento dei rifiuti e alla riduzione dell'impatto ambientale dovuto ai trasporti.

5. Qualità ambientale Interna (2 Prerequisiti, 8 Crediti – max 15 punti): questa sezione affronta le preoccupazioni ambientali relazionate alla qualità dell'ambiente interno, che riguardano la salubrità, la sicurezza e il comfort, il consumo di energia, l'efficacia del cambio d'aria e il controllo della contaminazione dell'aria.
6. Innovazione nella Progettazione (2 crediti – max 6 punti): questa sezione ha come obiettivo l'identificazione degli aspetti progettuali che si distinguono per le caratteristiche di innovazione e di applicazione delle pratiche di sostenibilità nella realizzazione di edifici.
7. Priorità Regionale (1 Credito - max 4 punti): tale area ha come obiettivo quello di incentivare i gruppi di progettazione a focalizzare l'attenzione su caratteristiche ambientali del tutto uniche e peculiari della località in cui è situato il progetto.

Si può dunque scegliere di rispondere alle esigenze rappresentate da alcuni crediti non valutandone degli altri; tuttavia è necessario raggiungere un numero di crediti minimo per ottenere la certificazione.

Dalla somma dei punteggi dei crediti deriva il livello di certificazione ottenuto:

- Certificazione Base: 40 - 49 punti.
- Certificazione Argento 50 - 59 punti.
- Certificazione Oro: 60 - 79 punti.
- Certificazione Platino: 80 punti e oltre.

## 1.2 Focus sezione Energia e Atmosfera

Tra tutte le sezioni presenti nello standard LEED, quella Energia e Atmosfera risulta essere la più impattante in termini di crediti. Questo in ragione del fatto che la conservazione dell'energia, ovvero il risparmio della stessa, contribuisce a ridurre le emissioni di gas clima alteranti in atmosfera. Per perseguire tale obiettivo la certificazione LEED con i crediti presenti in tale sezione, mira da un lato a ridurre i consumi mitigando i fabbisogni e dall'altro a ridurre le emissioni legate ai consumi rimanenti massimizzando l'utilizzo di fonti rinnovabili.

Ridurre il consumo di energia significa ottenere un risparmio rispetto ad un valore di fabbisogno target individuato attraverso la definizione di un edificio di riferimento. Ovvero un edificio con caratteristiche analoghe all'edificio di progetto in termini di superficie costruita che offre un fabbisogno medio tra un edificio con prestazioni scadenti e uno con prestazioni ottimizzate.

Le prime valutazioni da effettuare per ridurre i consumi consistono nello scegliere la forma migliore dell'edificio e il migliore orientamento, successivamente si ragiona sulla superficie più adeguata di involucro trasparente e su tutti i sistemi passivi di riscaldamento e raffrescamento.

Ridurre la domanda di energia, oltre a rappresentare una scelta vantaggiosa in termini ambientali, risulta essere vincente anche da un punto di vista economico, l'implementazione delle tecniche suggerite consente di raggiungere degli standard molto restrittivi senza l'acquisto di impianti, sì estremamente efficienti, ma anche molto costosi.

A seguito della minimizzazione dell'energia necessaria per il sostentamento dell'edificio è necessario valutare come ottenere tale energia. All'interno del protocollo sono presenti prerequisiti e crediti volti a stabilire un minimo di energia rinnovabile da utilizzare in sito. L'energia rinnovabile può essere prodotta attraverso il sole, il vento, l'acqua, il calore geotermico e i biocarburanti, indipendentemente dal fatto che tale produzione avvenga *in site* oppure *off site*. L'energia rinnovabile prodotta autonomamente è preferibile, ma la sua produzione risulta essere economicamente conveniente solo sul medio lungo termine. In alternativa si può comprare energia rinnovabile da fornitori esterni, che forniscono certificati per garantire la veridicità sulla provenienza dell'energia. Un esempio è la RECs (Renewable Energy Certificate System).

Inoltre creare un modello energetico dell'intero edificio permette un controllo dettagliato dei possibili consumi e influenza le successive scelte di impiantistiche. Avere un controllo generale e continuo sui consumi permette inoltre la scoperta di inefficienze di sistema che porterebbero sprechi economici ed energetici. Il Building Automation System (BAS) risponde a questa necessità. Questo sistema computerizzato monitora e regola gli impianti dell'edificio in maniera automatica e in tempo reale.

Una ulteriore alternativa è l'utilizzo di Carbon Offsets cioè un contributo monetario indirizzato ad organizzazioni che si occupano di diminuire le emissioni di carbone in un luogo diverso dall'area di progetto.

I prerequisiti che compongono la sezione energia e atmosfera sono:

1. Fundamental commission e verification, che ha come obiettivo quello di realizzare un progetto che soddisfi le esigenze del proprietario in termini di energia, acqua, qualità ambientale interna e durata;
2. Minimum energy performance, che mira all'ottenimento di un risparmio minimo del modello Proposed rispetto al Baseline;
3. Building- level energy metering, finalizzato ad una corretta gestione dell'energia dell'edificio valutando eventuali strategie gestionali per la riduzione dei consumi;
4. Fundamental refrigerant management, vieta l'uso di refrigeranti a base di clorofluorocarburi (CFC) nei nuovi sistemi di riscaldamento, ventilazione, condizionamento dell'aria e refrigerazione (HVAC&R), al fine di ridurre i danni legato allo strato di ozono;

I crediti che compongono la sezione energia e atmosfera sono:

1. Enhanced commissioning, che propone un miglioramento rispetto al prerequisito Fundamental commission e verification (6 punti);
2. Demand response, valuta l'utilizzo di sistemi in grado di ottimizzare il meccanismo di demand response (2 punti);
3. Advanced energy metering, questo credito ha la stessa struttura e la stessa finalità del credito Building- level energy metering (1 punto);
4. Renewable energy production, incentiva l'utilizzo di risorse rinnovabili al fine di ridurre le emissioni di carbonio (3 punti);
5. Enhanced refrigerant management, propone un miglioramento rispetto al prerequisito Fundamental refrigerant management (1 punto);

6. Green power and carbon offsets, incentiva l'utilizzo di energia verde (2 punti);
7. Optimize energy performance, questo credito premia la riduzione dei consumi del progetto rispetto all'edificio di riferimento (18 punti);

### **1.2.1 Focus V.4. Minimum energy performance required**

All'interno della sezione Energy & Atmosphere il prerequisito più vincolante è il Minimum energy performance required: l'intenzione alla base del credito è quella di ridurre i danni ambientali ed economici derivanti dall'uso eccessivo di energia raggiungendo un livello minimo di efficienza energetica per l'edificio e i suoi sistemi.

Per soddisfare tale credito lo standard LEED propone tre differenti opzioni.

#### ***Opzione 1***

La prima alternativa proposta consiste nel dimostrare un miglioramento del 5% per le nuove costruzioni, del 3% per le ristrutturazioni importanti o del 2% per i progetti core e shell nella valutazione delle prestazioni dell'edificio di progetto, detto "*Proposed*", rispetto alla valutazione delle prestazioni di un edificio di riferimento chiamato "*Baseline*".

Il calcolo delle prestazioni dei due edifici deve avvenire in conformità a quanto previsto dallo standard ANSI/ASHRAE/IESNA 90.1–2010, Appendice G, utilizzando un modello di simulazione dinamica. L'analisi deve considerare tutti i possibili consumi presenti all'interno dell'edificio in maniera conforme a quanto previsto dalla norma, se sono presenti carichi aggiuntivi rispetto ai carichi standard è necessario contabilizzarli e dichiararli tramite apposita documentazione. Questi carichi andranno poi inseriti in maniera uguale sia nel modello di riferimento, Baseline, sia nel modello di progetto, Proposed.

#### ***Opzione 2 e 3***

Le altre opzioni differiscono rispetto all'opzione uno, in quanto non obbligano ad effettuare delle analisi, bensì propongono un approccio prescrittivo. La seconda opzione, basata sul ASHRAE 50% advanced energy design guide, consiste nel rispettare le disposizioni obbligatorie e prescrittive dello standard ANSI/ASHRAE/IESNA 90.1–2010, in merito all'efficienza dei sistemi HVAC, tali indicazioni sono differenti a seconda

della zona climatica, della destinazione d'uso e della metratura degli edifici. La terza opzione consiste invece nel rispettare gli obblighi della stessa norma presenti alle sezioni 1,2,3.

### **1.2.2 Focus V.4. Optimize energy performance**

Il credito Optimize energy performance può essere visto come un'estensione del prerequisito minimum energy performance required, esso si basa infatti sullo stesso principio ed è strutturato in maniera analoga. Troviamo anche in questo credito, tre opzioni: la prima basata sulla modellazione energetica e le rimanenti su un approccio descrittivo.

Il numero di punti ottenibili cambia in relazione all'opzione scelta, questo avviene in ragione del fatto che si intende premiare i benefici che porta con sé un approccio basato sulla modellazione energetica rispetto ad un approccio prescrittivo.

#### ***Opzione 1***

L'opzione uno, analogamente a quanto avviene nel prerequisito minimum energy performance required, è basata sul calcolo del risparmio tra il modello di riferimento e il modello di progetto. Tale risparmio viene valutato attraverso un parametro che esprime il risparmio in termini di costo annuale sostenuto per la totalità dei vettori energetici utilizzati in progetto. Il credito suggerisce di agire, per ottenere il miglior punteggio possibile, sull'efficientamento dei sistemi HVAC e sull'ottimizzazione dell'involucro. Il numero di punti ottenibili varia in funzione della percentuale di risparmio ottenuta, del tipo di intervento realizzato e della destinazione d'uso dell'edificio. Di seguito si riportano delle tabelle riepilogative dei punti ottenibili.

New Construction	Major Renovation	Core and Shell	Points (except Schools, Healthcare)	Points Healthcare	Points Schools
6%	4%	3%	1	3	1
8%	6%	5%	2	4	2
10%	8%	7%	3	5	3
12%	10%	9%	4	6	4
14%	12%	11%	5	7	5
16%	14%	13%	6	8	6
18%	16%	15%	7	9	7
20%	18%	17%	8	10	8
22%	20%	19%	9	11	9
24%	22%	21%	10	12	10
26%	24%	23%	11	13	11
29%	27%	26%	12	14	12
32%	30%	29%	13	15	13
35%	33%	32%	14	16	14
38%	36%	35%	15	17	15
42%	40%	39%	16	18	16
46%	44%	43%	17	19	-
50%	48%	47%	18	20	-

Tab1. Punteggio relativo al miglioramento percentuale delle prestazioni energetiche del modello Proposed rispetto al Baseline, prospetto estratto dal manuale LEED.

Come si può evincere dalla tabella il massimo punteggio raggiungibile per gli edifici con destinazione d'uso scolastico sono 16 punti, per destinazione d'uso sanitaria 20 punti e per tutte le altre destinazioni d'uso 18 punti.

### ***Opzione 2***

Per utilizzare quest'opzione è necessario aver scelto l'opzione 2 anche nel prerequisito *minum energy performance required*; quest'opzione è legata alle prescrizioni presenti nel capitolo quattro della guida ASHRAE 50% Advanced Energy Design. Le prescrizioni variano in base alla zona climatica, per i progetti situati al di fuori degli Stati Uniti d'America la zona climatica deve essere calcolata conformemente a quanto previsto dall'appendice B e D del ASHRAE/ASHRAE/IESNA 90.1–2010. L'opzione due è basata su un approccio prescrittivo, per tale ragione il numero massimo di punti totalizzabili con tale opzione è 6, ovvero un terzo dei punti totalizzabili utilizzando l'opzione 1. I punti vengono assegnati in base all'alla destinazione d'uso dell'edificio ed in relazione alle ottimizzazioni realizzate.

### 1.3 Definizione del *Proposed* e del *Baseline*

Al fine di effettuare l'ottimizzazione della modellazione energetica dinamica finalizzata all'ottenimento del credito Optimize Energy performance della certificazione LEED versione V.4, risulta imprescindibile valutare i punti di forza e di debolezza del protocollo, nonché il modo in cui devono essere definiti i modelli dei due edifici da confrontare, ovvero Proposed e Baseline. La definizione di questi ultimi è normata dallo standard americano ANSI/ASHRAE/IESNA 90.1–2010; più precisamente dall'appendice G di tale testo normativo.

#### 1.3.1 Introduzione all'appendice G

L'appendice G della norma ANSI/ASHRAE/IESNA è suddivisa in 3 capitoli:

- G1 Generale;
- G2 Requisiti generali per la simulazione;
- G3 Calcolo delle prestazioni dell'edificio di progetto e di riferimento;

Nel capitolo G1 la norma fornisce indicazioni circa lo scopo, il metodo di calcolo per determinare la percentuale di miglioramento del Proposed Building rispetto al Baseline Building e la documentazione necessaria da produrre e sottoporre ai valutatori del progetto.

Particolare rilievo in questa prima sezione assume il metodo di calcolo per determinare la percentuale di miglioramento del progetto rispetto al modello di riferimento. La norma sottolinea infatti come tutti i carichi, specie quelli di processo, debbano essere tenuti in considerazione nella modellazione degli edifici e conseguentemente nel calcolo del risparmio effettuato con la seguente formula:

$$\text{Percentage improvement} = \frac{100 \times (\text{Baseline buiding performance} - \text{Proposed Building performance})}{\text{Baseline buiding performance}}$$

### 1.3.2 G2 Requisiti generali per la simulazione

La sezione G2 fornisce indicazioni circa gli strumenti da utilizzare per effettuare le analisi sul Baseline e sul Proposed, vincolando il progettista ad utilizzare per ambe due i modelli gli stessi dati climatici, gli stessi prospetti contenenti il costo dei vettori energetici e lo stesso programma di simulazione.

#### *Il programma di simulazione*

La scelta del programma di simulazione costituisce il primo passo verso la definizione dei modelli. La normativa ASHRAE, col fine guidare il progettista verso dei risultati che siano i più accurati possibili, impone dei requisiti molto stringenti per la certificazione di conformità dei solutori di calcolo. Il produttore del programma di simulazione deve infatti dimostrare tramite apposita documentazione la conformità rispetto allo standard ASHRAE 140.

I programmi più utilizzati per questo tipo di simulazione sono DOE-2, BLAST, Energy Plus e IES. In molti di questi programmi si trova un navigatore che guida il progettista durante la progettazione, suggerendo un iter progettuale da seguire per non incappare in errori o dimenticanze.

Un programma per essere certificato deve essere in grado di gestire un elevato livello di complessità in termini di capacità di modellazione e di calcolo dei risultati, esso deve infatti garantire la possibilità di:

- a) Effettuare calcoli orari per tutte le 8760 ore annue;
- b) Consentire di determinare profili con variazioni orarie di
  - Occupazione
  - Potenza di illuminazione
  - Set point di temperatura e regolazione dei sistemi HVAC
  - Distinguere i profili elencati tra giorni feriali e festivi
- c) Tenere in dovuta considerazione il fenomeno dell'inerzia termica;
- d) Definire almeno dieci zone termiche;
- e) Modellare curve di prestazione per le attrezzature meccaniche;
- f) Modellare curve di prestazione per gli apparecchi di riscaldamento e raffrescamento;

- g) Definire dei controlli per le apparecchiature ad aria;
- h) Modellare tutte le caratteristiche progettuali definite nella sezione G3 della normativa ASHRAE;

Il programma di simulazione deve eseguire delle analisi basate su valori orari di temperatura e umidità che siano rappresentativi delle condizioni climatiche del sito di realizzazione dell'intervento, in assenza di dati climatici certificati il progettista sceglierà tra i dati meteorologici disponibili, quelli che più approssimano i dati climatici del clima di cantiere.

Il programma a seguito della modellazione della geometria, dell'involucro e dei profili di orari deve restituire le capacità richieste ai sistemi di HVAC e le portate d'acqua richieste sia per il Proposed che per il Baseline.

A seguito della modellazione degli impianti e quindi del calcolo del sistema involucro impianto, il programma deve restituire come output le prestazioni del modello *Baseline* e del modello *Proposed*, oppure può produrre relazioni orarie sui consumi che verranno analizzate con solutori di calcolo separati.

Nel caso in cui il programma non sia in grado di gestire la modellazione di un materiale o di un dispositivo è necessario adottare un modello di calcolo eccezionale, questo va dichiarato ed esplicitato tramite apposita documentazione. Se nel progetto si incontrano più elementi da calcolare separatamente è necessario definire tramite relazioni separate i metodi di calcolo dei singoli componenti. Successivamente ogni calcolo eccezionale verrà valutato da parte dei validatori del progetto.

Per ogni elemento calcolato separatamente sarà necessario dimostrare tramite opportuna analisi di sensitività, l'impatto che l'elemento ha sui consumi globali dell'edificio di progetto. Ciò avviene in ragione del fatto che la somma degli elementi calcolati separatamente non può incidere per più della metà del risparmio che si ha tra il consumo del *Proposed* e il consumo del *Baseline*.

### **1.3.3 G3 Calcolo delle prestazioni dell'edificio di progetto e di riferimento**

La sezione G3 riassume tutte le procedure necessarie per modellare nella maniera corretta il modello rappresentativo del *Proposed* e quello del *Baseline*. A tale scopo la norma suddivide nelle seguenti categorie tutti gli elementi di modellazione:

1. Modello di progetto;
2. Differenze e aggiunte al progetto;
3. Destinazioni d'uso;
4. Profili orari;
5. Involucro;
6. Illuminazione;
7. Zone termiche definite in progetto;
8. Zone termiche non progettate;
9. Zone termiche per edifici plurifamiliari;
10. Sistemi HVAC;
11. Sistemi di produzione dell'acqua calda;
12. Carichi aggiuntivi;
13. Limitazioni del programma di simulazione;
14. Condizioni esterne;

#### ***Definizione del progetto e destinazioni d'uso***

Per la modellazione dell'edificio "Proposed" la norma indirizza il progettista verso una modellazione che sia rappresentativa dello stato di progetto, quindi conforme e rispondente a tutti gli altri elaborati progettuali, siano essi architettonici o impiantistici. Oltre a tutti gli impianti che costituiscono i sistemi HVAC e di illuminazione presenti all'interno dell'edificio la norma richiede la modellazione e il calcolo dei carichi derivanti da dispositivi posti all'esterno dello stesso, come scale mobili esterne, ascensori esterni, dispositivi di scioglimento della neve, pompe per piscine e dispositivi di illuminazione delle facciate. Inoltre tutti gli spazi con una destinazione d'uso che prevede il mantenimento delle temperature di set point devono essere modellati come spazi riscaldati e raffrescati anche se in progetto non sono previsti impianti, se invece non è

definita in progetto la destinazione d'uso di un'area, tale area sarà classificata come spazio destinato ad uffici. Tutte le aree con destinazione definita in progetto devono invece essere classificate o con le categorie Building type o con le categorie Space type, entrambe secondo normativa.

*Per ciò che concerne la modellazione del baseline, questo deve essere modellato con lo stesso numero di piani e la stessa superficie riscaldata e raffrescata dell'edificio Proposed, inoltre deve combaciare la metratura per le varie destinazioni d'uso.*

### ***Profili orari, involucro e illuminazione***

Imponendo una modellazione dinamica, la norma presta particolare attenzione alla modellazione dei profili orari e alla modellazione dell'involucro, poiché per dare valore ad un'analisi effettuata su base oraria è fondamentale definire i carichi di progetto ora per ora, siano essi derivanti dalle condizioni climatiche esterne siano essi derivanti dai carichi presenti all'interno dell'edificio.

Per l'edificio Proposed è necessario simulare in maniera corretta le variazioni orarie di occupazione, potenza di illuminazione, potenza degli apparecchi elettrici, temperature di set point e carichi dei sistemi HVAC.

*I profili orari del progetto Baseline devono essere gli stessi del progetto Proposed.*

In merito alla modellazione dell'involucro la norma invita il progettista a modellare tutti gli elementi in maniera fedele agli elaborati architettonici, consentendo allo stesso di utilizzare pochissime approssimazioni per semplificare il modello. Per semplificare la progettazione è tuttavia possibile, secondo quanto indicato dallo specchio 5 della sezione G3 adottare le seguenti strategie:

- Assimilare in un unico elemento le superfici con inclinazione e orientamento che non differiscono per più di 45 gradi.
- Modellare gli elementi che costituiscono la copertura con riflettanza pari a 0.3 e emittenza pari a 0.9.
- Modellare o non modellare tutti i dispositivi di ombreggiatura manuale purchè si adotti la stessa strategia nella modellazione del Baseline. Per ciò che riguarda i

dispositivi di schermatura con attivazione automatica invece è obbligatoria la modellazione degli stessi, lo stesso vale per tutti i componenti finestrati controllati in maniera automatica.

*Per ciò che concerne la modellazione dell'involucro del modello Baseline, questa deve essere uguale a quella del Proposed in termini di dimensioni delle superfici esterne siano esse tetti, pavimenti, elementi di facciata o porte.*

*Un aspetto molto importante per la modellazione del Baseline è l'orientamento dell'edificio. Per avere un modello di riferimento che non abbia prestazioni eccessivamente performanti o eccessivamente scadenti la norma impone di ruotare il modello di progetto di 90,190 e 270 gradi e di calcolare la media dei risultati. È tuttavia possibile evitare tale procedura se la differenza dei componenti finestrati tra tutti gli orientamenti è minore del 5%.*

*Per ciò che concerne la modellazione dell'involucro, questa differisce in maniera sostanziale a seconda del tipo di intervento, per interventi su edifici esistenti è necessario modellare tutti gli elementi di involucro rispettando lo stato dell'arte. Tutti gli interventi che riguardano nuove costruzioni devono invece seguire le seguenti prescrizioni:*

- *Per tutti gli elementi di involucro siano essi tetti, elementi opachi di facciata, lucernai, finestre e porte si deve assegnare la trasmittanza indicata nella tabella 5-5 della normativa ASHRAE.*
- *Nel caso in cui la somma di tutti gli elementi finestrati verticali è maggiore del 40% rispetto alla superficie di involucro opaco verticale è necessario assegnare ad ogni elemento opaco verticale il 40% di superficie vetrata, in caso contrario è possibile la superficie vetrata di progetto.*
- *Nel caso in cui la somma degli elementi finestrati orizzontali è maggiore 5% rispetto alla superficie di involucro opaco orizzontale è necessario assegnare ad ogni elemento opaco orizzontale il 5% di superficie vetrata, in caso contrario è possibile la superficie vetrata di progetto.*
- *La riflettanza e l'emittenza degli elementi nell'edificio di Baseline viene modellata in maniera analoga a quanto osservato per la modellazione del Proposed.*

In merito ai dispositivi di illuminazione lo standard prevede per l'edificio Proposed, la modellazione di tutti i dispositivi interni ed esterni esistenti con le relative regolazioni. Nel caso nuove costruzioni si fa riferimento a quanto previsto negli elaborati progettuali. Nel caso in cui sia definita la destinazione d'uso ma non siano presenti dispositivi di illuminazione, i carichi di questi spazi vengono modellati conformemente a quanto indicato nel Building Area Method.

La modellazione dei carichi derivanti dai dispositivi di modellazione per il Baseline segue quanto prescritto per l'edificio Proposed.

### ***Zone termiche e modellazione dei sistemi HVAC***

Le zone termiche per il Proposed devono essere modellate secondo quanto previsto nel progetto impiantistico, tuttavia alcune zone possono essere accorpate in un'unica zona termica se sussistono le seguenti condizioni:

1. Le zone hanno stessa destinazione d'uso.
2. Tutte le pareti che delimitano le zone termiche hanno stesso orientamento o differenza di orientamento minore di 45 gradi.
3. Tutte le zone sono servite dallo stesso impianto HVAC o dallo stesso tipo di impianto HVAC.

Se la distribuzione interna non è definita, per la modellazione delle zone termiche si utilizza il seguente protocollo:

1. Come primo passo si effettua una distinzione tra gli spazi interni e gli spazi esterni, definendo come spazio interno lo spazio che dista più di 15 piedi da una parete esterna.
2. Per gli spazi adiacenti a pareti esterne vetrate devono essere assunti blocchi termici separati.
3. Gli spazi con pavimento a contatto con il terreno o l'esterno possono essere accorpate a spazi che condividono la stessa caratteristica. Similmente è obbligatorio fare per gli spazi il cui tetto è confinante con l'esterno.

4. Mantenendo tutte le indicazioni precedenti è possibile per gli edifici residenziale ridurre ad un'unica zona termica l'unità immobiliare ed accorpare unità immobiliari con stesse caratteristiche e orientamento.

*La modellazione delle zone termiche per il modello Baseline viene realizzata in maniera analoga a quando indicato per il Proposed.*

La modellazione degli impianti di riscaldamento, raffrescamento e produzione di acqua calda sanitaria del Proposed viene effettuata modellando i dispositivi con le caratteristiche di efficienza e potenza reali, nel caso di assenza di dispositivi ma di indicazioni progettuali precise verranno inseriti i dispositivi previsti con le caratteriste indicate in progetto.

Nel caso di assenza di indicazioni impiantistiche si assume che tutti i dispositivi abbiano una generazione elettrica e le caratteristiche dell'impianto riflettono le prescrizioni normative che si adottano per il modello di Baseline.

Per tutti gli edifici che non prevedono l'istallazione di sistemi di produzioni di acqua calda sanitaria è consentito non prevedere i carichi derivanti da questo servizio nell'edificio di progetto.

*La modellazione degli impianti nel modello di Baseline viene realizzata in maniera diversa in base alla destinazione d'uso, alla superficie utile ed al numero di piani del fabbricato. La norma impone di aumentare il carico di riscaldamento del 25% rispetto a quanto calcolato e quello di raffrescamento del 15 %, inoltre per tutti i generatori è prevista la modellazione con l'efficienza minima stabilita da normativa. Le indicazioni circa le tipologie di impianto di ventilazione, raffrescamento e riscaldamento sono contenute nelle tabelle 2 e 3 riportate di seguito.*

TABLE G.3.1.1A Baseline HVAC System Types		
Building Type	Fossil Fuel,Fossil/Electric Hybrid,and Purchased Heat	Electric and Other
Residential	System 1-PTAC	System 2-PTHP
Nonresidential and 3 Floor or Less and<25,000 ft <sup>2</sup>	System 3-PSZ-AC	System 4-PSZ-HP
Nonresidential and 4 or 5 Floor or Less and<25,000 ft <sup>2</sup> or 5 Floor or Less and 25,000 ft <sup>2</sup> to 150,000 ft <sup>2</sup>	System 5-Packaged VAY with reheat	System 6-Packaged VAY with PFP Boxes
Nonresidential and More than 5 Floor or > 150,000 ft <sup>2</sup>	System 7-VAV with Reheat	System 8- VAV with PFP Boxes
Heated Only Storage	System 9-Heating and Ventilation	System 10-Heating and Ventilation

Tab 2. Tabella G3.1.1A ASHRAE 90.1, informazioni estratte dalla normativa ASHRAE 90.1-2010.

TABLE G.3.1.1B Baseline HVAC Description				
System NO.	System Type	Fan Control	Cooling Type	Heating Type
1. PTAC	Packaged terminal air conditioner	Costant volume	Direct expansion	Hot-water fossil fuel boiler
2. PTHP	Packaged Terminal Heat pump	Costant volume	Direct expansion	Electric heat pump
3. PSZ-AC	Packaged rooftop air conditioner	Costant volume	Direct expansion	Fossil fuel furnance
4. PSZ-HP	Packaged rooftop Heat pump	Costant volume	Direct expansion	Electric heat pump
5.Packaged VAY with Rehet	Packaged rooftop VAY with reheat	VAV	Direct expansion	Hot-water fossil fuel boiler
6. Packaged VAY with PFP Boxes	Packaged rooftop VAY with parallel fan power boxes and reheat	VAV	Direct expansion	Electric resistance
7.VAY with Reheat	VAY with reheat	VAV	Chilled water	Hot-water fossil fuel boiler
8. VAV with PFP Boxes	VAY with parallel fan-powered boxes ad reheat	VAV	Chilled water	Electric resistance
9. Heating and Ventilation	Warm air furnance,gas fired	Costant volume	None	Fossil fuel furnance
10.Heating and Ventilation	Warm air furnance,electric	Costant volume	None	Electric resistance

Tab3. G3.1.1B ASHRAE 90.1, informazioni estratte dalla normativa ASHRAE 90.1-2010.

*La modellazione dei sistemi impiantistici di produzione di acqua calda sanitaria per il modello di riferimento viene effettuata in maniera analoga all'edificio di progetto, tuttavia la normativa impone al progettista nel caso di sistemi combinati di riscaldamento e acqua calda sanitaria di utilizzare per la modellazione due sistemi separati associando agli stessi i minimi valori di efficienza previsti da normativa. Inoltre è necessario modellare fedelmente tutti i carichi derivanti dagli apparecchi ausiliari.*

### ***Carichi generici e condizioni esterne***

Tutti i carichi non derivanti dai sistemi HVAC, quali i carichi dovuti all'utilizzo di computer o altri dispositivi elettrici devono essere modellati effettuando una stima in base al building type o space type. Questa procedura è valida sia per il modello di progetto che per il modello di riferimento, infatti tali carichi devono essere uguali per entrambi i modelli.

Per ciò che concerne la modellazione dell'edificio di progetto, la normativa suggerisce di modellare tutti gli elementi quali vegetazione e edifici vicini, che hanno un impatto significativo sulla quantità di radiazione solare che interessa l'edificio. Questi elementi vanno modellati rigorosamente quando la loro altezza è maggiore della loro distanza dall'edificio. Per calcolare la dispersione di calore attraverso pareti o pavimenti a contatto con il terreno la norma consente di utilizzare la temperatura media annua o la temperatura media mensile del terreno. Inoltre per calcolare i carichi associati ai sistemi di riscaldamento e acqua calda sanitaria è possibile utilizzare la temperatura media annuale del terreno quando le temperature dell'acqua fornite dal servizio idrico non è disponibile.

*Per la modellazione delle condizioni esterne la norma impone una modellazione dell'edificio di riferimento identica a quella dell'edificio di progetto.*

## 2 CERTIFICAZIONI DI SOSTENIBILITÀ

Il comune denominatore di tutti i certificati di sostenibilità ambientale è l'intenzione di guidare la società verso uno sviluppo sostenibile che riesca a coniugare il benessere della popolazione con il rispetto dell'ambiente e delle risorse che la natura ci fornisce.

La necessità di traghettare la società verso una crescita sostenibile è stata per la prima volta espressa con forza nel 1987 da parte del WCED (World commission on environment and development) che con il Brundtland report, detto anche Our common future, ha indicato le linee guida per la progettazione di una società più rispettosa delle esigenze del pianeta affermando con veemenza che l'approccio fino a quel momento utilizzato, ovvero l'approccio "Business as usual" avrebbe comportato una crescita esponenziale delle emissioni, accelerando ed accentuando tutte le problematiche connesse ai cambiamenti climatici.

Successivamente molti report governativi come lo Stern Report del governo del Regno Unito e il Garnaut Report del governo federale Australiano hanno confermato le conclusioni a cui si era giunti con il Brundtland Report, ovvero che senza una riduzione delle emissioni di gas alternanti, non solo si sarebbe andati incontro ad una crisi climatica ed ambientale, ma anche e soprattutto ad una crisi economica e sociale.

Parallelamente alle attività governative, a seguito dell'allarme lanciato dal WCED, al fine di mitigare le emissioni legate al mondo delle costruzioni prese piede l'idea di costituire associazioni finalizzate alla realizzazione di protocolli di progettazione e gestione dell'ambiente costruito. Nasce così negli anni novanta BREEAM la prima certificazione di sostenibilità ambientale alla quale seguiranno la certificazione americana LEED e la francese HQE. Sul modello degli standard citati sono stati elaborati a partire dagli anni 2000 un numero consistente di certificazioni di sostenibilità. L'immagine seguente mostra le certificazioni fin qui diffuse e la loro origine.



Fig1. Distribuzione delle certificazioni di sostenibilità ambiente nel mondo, Richard Reed, Anita Bilos, Sara Wilkinson & Karl-Werner Schulte (2009) International Comparison of Sustainable Rating Tools, Journal of Sustainable Real Estate, 1:1,1-22, DOI: 10.1080/10835547.2009.12091787.

La diffusione di questi strumenti ha portato un numero considerevole di nazioni a far parte del World Green Building Council (WGBC), di seguito, alla tabella 4, è illustrato uno specchietto riepilogativo di tutte le certificazioni di sostenibilità ambientale riconosciute nei vari continenti nell'anno 2009.

<b>World Green Building Council</b>			<a href="http://www.worldgbc.org/">http://www.worldgbc.org/</a>	
<b>continent</b>	<b>labeling</b>	<b>country</b>	<b>web page</b>	
<b>America</b>	LEED*	USA	<a href="http://www.usgbc.org/">http://www.usgbc.org/</a>	1
	Green Globes*	USA	<a href="http://www.greenglobes.com/">http://www.greenglobes.com/</a>	2
	LEED Canada*	Canada	<a href="http://www.cagbc.org/">http://www.cagbc.org/</a>	3
	Green Globes*	Canada	<a href="http://www.greenglobes.com/">http://www.greenglobes.com/</a>	4
	LEED Mexiko/ SICES	Mexiko	<a href="http://www.mexicogbc.org/">http://www.mexicogbc.org/</a>	5
	LEED Brasil*	Brazil	<a href="http://www.gbcbrasil.org.br/pt/">http://www.gbcbrasil.org.br/pt/</a>	6
	AQUA	Brazil	<a href="http://www.vanzolini.org.br/">http://www.vanzolini.org.br/</a>	7
	-	Colombia		8
	-	Argentina	<a href="http://www.argentinagbc.org.ar/">http://www.argentinagbc.org.ar/</a>	9
<b>Europe</b>	Green Building	Europe	<a href="http://www.eu-greenbuilding.org/">http://www.eu-greenbuilding.org/</a>	10
	DGNB*	Germany	<a href="http://www.dgnb.de/">http://www.dgnb.de/</a>	11
	BREEAM*	UK	<a href="http://www.breeam.org/">http://www.breeam.org/</a>	12
	HQE*	France	<a href="http://www.assohqe.org/">http://www.assohqe.org/</a>	13
	CertiveA	France	<a href="http://www.certivea.fr/">http://www.certivea.fr/</a>	14
	PromisE	Finland	<a href="http://www.vtt.fi/">http://www.vtt.fi/</a>	15
	Lider A	Portugal		16
	BREEAM Netherlands	Netherlands	<a href="http://www.dgbc.nl/">http://www.dgbc.nl/</a>	17
	Protocollo Itaca	Italy	<a href="http://www.itaca.org/">http://www.itaca.org/</a>	18
	-	Italy	<a href="http://www.gbccitalia.org">http://www.gbccitalia.org</a>	19
	SPIN	Swiss	<a href="http://www.inrate.ch/index.php?id=49">http://www.inrate.ch/index.php?id=49</a>	20
	Minenergie*	Swiss	<a href="http://www.minergie.ch/">http://www.minergie.ch/</a>	21
	-	Poland	<a href="http://www.plgbc.org/">http://www.plgbc.org/</a>	22
	-	Romania	<a href="http://www.rogbc.org/romania-green-building-council/">http://www.rogbc.org/romania-green-building-council/</a>	23
	VERDE	Spain		24
<b>Asia</b>	LEED Emirates*	VAE	<a href="http://www.esoul.gohsphere.com/default.aspx">http://www.esoul.gohsphere.com/default.aspx</a>	25
	LEED India*	India	<a href="http://www.cagbc.org/">http://www.cagbc.org/</a>	26
	TGBRS India	India	<a href="http://www.teriin.org/">http://www.teriin.org/</a>	27
	Green Mark	Singapur	<a href="http://www.bca.gov.sg/GreenMark/green_mark_buildings">http://www.bca.gov.sg/GreenMark/green_mark_buildings</a>	28
	SGP 2012	Singapur	<a href="http://www.mewr.gov.sg/sgp2012/">http://www.mewr.gov.sg/sgp2012/</a>	29
	ABRI	Taiwan	<a href="http://www.abri.gov.tw/utcPageBox/ENGMMAIN.aspx?ddsP">http://www.abri.gov.tw/utcPageBox/ENGMMAIN.aspx?ddsP</a>	30
	GBAS	China		31
	-	Vietnam	<a href="http://vsccan.org/vgbc/green-building-tools/">http://vsccan.org/vgbc/green-building-tools/</a>	32
	HK-BEAM*	Hong Kong	<a href="http://www.hk-beam.org.hk/general/home.php">http://www.hk-beam.org.hk/general/home.php</a>	33
CASBEE*	Japan	<a href="http://www.ibec.or.jp/CASBEE/">http://www.ibec.or.jp/CASBEE/</a>	34	
<b>Africa</b>	Green Star SA*	Southafrica	<a href="http://www.gbcsa.org.za/">http://www.gbcsa.org.za/</a>	35
<b>Australia</b>	Green Star*	Australia	<a href="http://www.gbca.org.au/">http://www.gbca.org.au/</a>	36
	Nabers*	Australia	<a href="http://www.nabers.com.au">http://www.nabers.com.au</a>	37
	Green Star NZ*	New Zealand	<a href="http://www.nzgbc.org.nz/main/">http://www.nzgbc.org.nz/main/</a>	38
30.05.2009	not verified			
	* Certification Systems / Rating Tool			

Tab 4. Certificazioni di sostenibilità ambientale utilizzate per continente, Richard Reed, Anita Bilos, Sara Wilkinson & Karl-Werner Schulte (2009) International Comparison of Sustainable Rating Tools, Journal of Sustainable Real Estate, 1:1,1-22, DOI: 10.1080/10835547.2009.12091787.

## 2.1 Introduzione al BREEAM

BREEAM (Building Research Establishment's Environmental Assessment Method) è un sistema di valutazione della sostenibilità ambientale degli edifici sviluppato in Gran Bretagna e riconosciuto a livello internazionale, ad oggi questo standard viene applicato in più di 70 paesi in tutto il mondo. BREEAM è stato sviluppato negli anni novanta dal BRE global, nato come ente pubblico ma privatizzato nel 1997. BRE global si occupa della revisione e aggiornamento dello standard inglese e di quello internazionale, inoltre è inquadrato come un ente terzo, facente parte di BRE group, che valuta e certifica i progetti.

A seguito del successo e quindi della veloce diffusione in molti paesi del mondo è stato necessario creare dei nuclei di gestione dei progetti in tutte le nazioni che utilizzano il protocollo, ciò è stato fatto con il fine di fornire delucidazioni ad i progettisti in merito alle indicazioni progettuali basate sulle normative nazionali che BREEAM richiama all'interno delle procedure di calcolo. Queste organizzazioni nazionali infatti, partendo dal testo BREEAM international scalano il protocollo adattandolo alle esigenze e alle normative delle nazioni in cui operano.

Gli obiettivi della certificazione BREEAM sono:

- Attribuire un plusvalore economico agli edifici a basso impatto ambientale;
- Garantire l'integrazione del concetto di sostenibilità ambientale nelle fasi di pianificazione, progettazione, costruzione e gestione dell'ambiente costruito;
- Definire uno standard che superi per efficienza quello previsto dalle normative nazionali;
- Stimolare il mercato al fine di ricercare soluzioni innovative ed economiche che abbiano come linea guida la sostenibilità ambientale;
- Sensibilizzare le popolazioni sull'importanza della sostenibilità e della corretta gestione dell'ambiente costruito;
- Fornire uno strumento per dimostrare i progressi in termini di sostenibilità ambientale;

In maniera del tutto analoga al sistema di certificazione LEED, il BREEAM è suddiviso in diverse categorie, ogni categoria è caratterizzata da una tematica diversa alla quale vengono assegnati dei requisiti minimi per ottenere la certificazione.

Ogni categoria è inoltre scomposta in delle sotto-tematiche ai quali viene assegnato un punteggio in base all'importanza che la tematica ricopre all'interno della categoria.

Una volta eseguita l'analisi e la progettazione in riferimento ad una singola tematica verrà assegnato un punteggio relativo alla stessa in relazione al livello di prestazione ottenuto.

Il numero di punti ottenuti nella singola categoria è poi moltiplicato per il peso della sezione sul totale, si ottiene così il numero di punti ottenibili dalla singola categoria. La somma dei punti ottenuti per categoria sarà pari al punteggio finale.

Per ottenere la certificazione è necessario totalizzare un punteggio maggiore di 30 punti, superata tale soglia in base al punteggio ottenuto potrà essere conseguita una certificazione di diverso livello:

- Eccezionale (outstanding) > 85;
- Ottimo (excellent) > 70;
- Molto buono (very good) > 55;
- Buono (good) > 45;
- Passato (pass) > 30;

Le 10 sezioni in cui si divide la certificazione sono:

1. Gestione;
2. Salute e benessere;
3. Rifiuti;
4. Trasporti;
5. Acqua;
6. Materiali;
7. Energia;
8. Uso del suolo;
9. Inquinamento;
10. Innovazione;

## **2.1.1 La sezione Energy e il credito Reduction of energy use and carbon emission**

La settima categoria del protocollo BREEAM è la categoria energia, questa costituisce il corrispettivo della categoria Energy and Atmosphere del protocollo LEED. L'obiettivo di tale sezione è quello di incoraggiare l'utilizzo di strategie di isolamento passivo attraverso la progettazione di un sistema di involucro efficiente e di predisporre soluzioni impiantistiche innovative ed efficienti finalizzate alla riduzione di emissioni di carbonio durante la fase di gestione dell'ambiente costruito.

Questa categoria è suddivisa nelle seguenti tematiche:

- Ene 01 Reduction of energy use and carbon emissions;
- Ene 02a Energy monitoring;
- Ene 02b Energy monitoring;
- Ene 03 External lighting;
- Ene 04 Low carbon design;
- Ene 05 Energy efficient cold storage;
- Ene 06 Energy efficient transport systems;
- Ene 07 Energy efficient laboratory systems;
- Ene 08 Energy efficient equipment;
- Ene 09 Drying space;

### ***Reduction of energy use and carbon emission***

La sotto categoria Reduction of energy use and carbon emission mira come dice il nome stesso, alla riduzione dell'uso di energia e delle emissioni di carbonio; tra tutte è quella che può portare un numero di crediti maggiori all'interno della categoria energia, infatti ottenendo il massimo del punteggio è possibile totalizzare 15 crediti su un totale di 37 dell'intera categoria energia. Questa sotto tematica può essere considerata la corrispettiva del credito Optimize energy performance per la certificazione LEED sia in termini di intenzioni che in termini di importanza ai fini dell'ottenimento della certificazione. Per effettuare l'analisi di questa sotto categoria esistono due opzioni:

1. Calcolo dei consumi attraverso un software di calcolo energetico certificato
2. Utilizzo di sistemi in progetto ad alta efficienza

Tra i due metodi, il primo è quello più interessante poiché oltre a consentire il raggiungimento di 15 crediti contro i 10 del secondo metodo, ci consente di avere un'idea ben precisa dei punti di debolezza e di forza del progetto, suggerendo indirettamente delle strategie per efficientare ulteriormente l'edificio.

Il primo metodo si basa sul calcolo dell'indice  $EPR_{inc}$ , ovvero un indice basato su:

- Fabbisogno energetico di riscaldamento e raffreddamento dell'edificio ( $MJ/m^2$ );
- Consumo di energia primaria dell'edificio ( $kWh/m^2$ );
- Emissioni totali di  $CO_2$  ( $kgCO_2/m^2$ );

La prima fase per la determinazione dell'indice consiste nel modellare attraverso un software approvato per il calcolo dell'energia degli edifici, il modello di progetto, verificando il rispetto delle normative nazionali.

Successivamente il modello viene aggiornato utilizzando le indicazioni di modellazione proposte dalla sezione Reduction of energy use and carbon, da questa modellazione è possibile estrapolare un secondo set di dati che ci consente di valutare l'efficacia delle normative nazionali in materia di efficienza energetica.

A seguito di queste operazioni otteniamo due set di dati distinti, un solutore di calcolo effettuerà così le analisi dei risultati confrontandoli con quelli di progetto e fornendo il valore di  $EPR_{INC}$ .

Dopo aver effettuato il calcolo di questo parametro, grazie ad una tabella fornita dal manuale BREEAM è possibile determinare il numero di crediti ottenuti per la sottocategoria Reduction of energy use and carbon emission.

BREEAM CREDITS	EPR <sub>INC.</sub>
1	0.06
2	0.12
3	0.18
4	0.24
5	0.3
6	0.36
7	0.42
8	0.48
9	0.54
10	0.6
11	0.66
12	0.72
13	0.78
14	0.84
15	0.9

Tab 5. Punteggio ottenibile in base al EPR<sub>INC.</sub>, valori estratti dal manuale BREEAM.

## 2.2 Introduzione ad ITACA

Il Protocollo ITACA è uno strumento di valutazione della sostenibilità energetica e ambientale degli edifici. Il Protocollo permette di verificare le prestazioni di un edificio in riferimento non solo ai consumi e all'efficienza energetica, ma valutando altresì l'impatto che l'ambiente costruito ha sull'ambiente e sulla salute dell'uomo. Questo approccio consente dunque di realizzazione di edifici ad alto tasso tecnologico caratterizzati da un basso fabbisogno di energia e da ridotti consumi di acqua. Nella valutazione delle prestazioni progettuali vengono presi in grande considerazione i materiali impiegati, l'obiettivo è quello di utilizzare materiali e dispositivi che nella loro produzione comportino bassi consumi energetici e nello stesso tempo garantiscano un elevato comfort.

ITACA, nasce nei primi anni 2000 come risultato di una convergenza di sforzi e intenti delle Regioni Italiane che postesi l'obiettivo di dotarsi di uno strumento valido per supportare le politiche territoriali di promozione della sostenibilità ambientale nel settore delle costruzioni. Il protocollo è stato realizzato da ITACA (Istituto per l'innovazione e trasparenza degli appalti e la compatibilità ambientale - Associazione nazionale delle Regioni e delle Province autonome), nell'ambito del Gruppo di lavoro interregionale per l'Edilizia Sostenibile istituito nel dicembre 2001, con il supporto tecnico di iiSBE Italia (international initiative for a Sustainable Built Environment Italia) e ITC-CNR. L'approvazione del protocollo è avvenuta il 15 gennaio 2004 dalla Conferenza delle Regioni e delle Province autonome.

Il Protocollo è derivato dal modello di valutazione internazionale SBTool, sviluppato nell'ambito del processo di ricerca Green Building Challenge, e contestualizzato al territorio italiano in relazione alla normativa di riferimento ed ai propri caratteri ambientali.

Il sistema di valutazione SBTool nasce dal processo GBC Green Building Challenge, successivamente evoluto e aggiornato in SBC, Sustainable Building Challenge, e consiste in una piattaforma internazionale definita per sviluppare uno strumento di verifica della sostenibilità ambientale delle costruzioni. La metodologia SBC consente di specializzare lo strumento in funzione del contesto regionale e quindi della diversa importanza da attribuire alle varie prestazioni analizzate, variando il punteggio in base al quadro legislativo e normativo vigente.

I principi su cui si basa lo strumento sono:

- l'individuazione di criteri, ossia i temi ambientali che permettono di misurare le varie prestazioni ambientali dell'edificio posto in esame;
- la definizione di prestazioni di riferimento (benchmark) con cui confrontare quelle dell'edificio ai fini dell'attribuzione di un punteggio corrispondente al rapporto della prestazione con il benchmark;
- la "pesatura" dei criteri che ne determinano la maggiore e minore importanza;
- il punteggio finale sintetico che definisce il grado di miglioramento dell'insieme delle prestazioni rispetto al livello standard;

Lo standard ITACA viene declinato in diversi protocolli in base alle destinazioni d'uso:

- Protocollo ITACA Nazionale 2011 Residenziale;
- Protocollo ITACA Nazionale 2011 Edifici commerciali;
- Protocollo ITACA Nazionale 2011 Edifici industriali;
- Protocollo ITACA Nazionale 2011 Edifici scolastici;
- Protocollo ITACA Nazionale 2011 Uffici;

Ogni protocollo a sua volta contiene all'interno le indicazioni progettuali per le nuove costruzioni e per le ristrutturazioni.

Il protocollo ITACA è inquadrato secondo una struttura gerarchica che si divide in strumenti divisi in base ad aree di valutazione, suddivise a loro volta in criteri. I criteri costituiscono l'unità fondamentale del protocollo, essi disciplinano tutto l'iter progettuale definendo i requisiti progettuali in termini di impianto e le strategie di manutenzione e gestione degli impianti.

Le aree di valutazione sono le stesse in tutti i protocolli, e sono in totale cinque:

- A. qualità del sito, l'obiettivo dei crediti di quest'area di valutazione è quello di riutilizzare aree dismesse e precedentemente antropizzate, favorendo i siti serviti da infrastrutture come la rete elettrica, l'acquedotto, la rete fognaria e del gas. Questo approccio consente di evitare ulteriori opere di urbanizzazione che comportano costi economici e energetici significativi. Si predilige inoltre

l'urbanizzazione di aree servite da reti di trasporto pubbliche al fine di spingere l'occupante verso una mobilità sostenibile, in tal senso il protocollo favorisce la realizzazione di spazi esterni di uso comune che comprendano parcheggi per biciclette e colonne di ricariche per le auto elettriche.

- B. consumo di risorse, quest'area è orientata alla riduzione dei fabbisogni di energia per i servizi di riscaldamento, raffrescamento e produzione di acqua calda sanitaria, incentivando strategie di mitigazione dei carichi termici in ambiente. L'energia necessaria dovrà invece essere prodotta attraverso l'utilizzo di fonti di energia rinnovabile. Un'altra soluzione progettuale caldamente consigliata riguarda il risparmio di acqua potabile attraverso l'impiego di sistemi di più efficiente e il riuso delle acque piovane per servizi quali l'irrigazione. Per ciò che concerne l'involucro si mira invece al recupero dell'esistente dove possibile e all'utilizzo di materiale riciclati per favorire lo sviluppo di un'economia circolare, sempre in tal senso vengono suggerite soluzioni progettuali disassemblabili e modulari che favoriscano il riuso dei materiali impiegati.
- C. carichi ambientali, questa sezione si concentra particolarmente sull'ambiente, l'obiettivo è quello di ridurre le emissioni di gas clima alternati derivanti dall'utilizzo di energia fossile.
- D. qualità ambientale indoor, in questa sezione è concentrata sull'uomo, la sua salute e il suo benessere. Oltre al mantenimento di condizioni termo igrometriche e di ventilazione confortevoli si ricerca il benessere visivo, prediligendo l'utilizzo dell'illuminazione naturale, la qualità acustica dell'edificio, che deve proteggere dai rumori esterni e interni.
- E. qualità del servizio, in questa area si guarda la presenza e l'integrazione di servizi di domotica, la presenza di una rete di cablaggio per la trasmissione dati per diverse finalità, il mantenimento delle prestazioni dell'involucro edilizio, e la disponibilità della documentazione tecnica degli edifici.

Tutte le aree come visto in precedenza sono formate da singoli criteri, in base alla specifica prestazione, l'edificio per ogni criterio e sotto-criterio riceve un punteggio che può variare da -1 a +5. Lo zero rappresenta i risultati derivanti dalla pratica costruttiva corrente, nel rispetto delle leggi o dei regolamenti vigenti, il punteggio meno uno viene assegnato per progetti che non rispettano gli standard nazionali mentre i punteggi positivi

vengono assegnate in relazione al % di miglioria raggiunte rispetto al riferimento normativo.

Il punteggio viene assegnato in base alle indicazioni e al metodo di verifica riportati nella scheda descrittiva di ogni criterio di valutazione. Le informazioni riportate su ogni scheda sono:

- l'esigenza, ovvero l'obiettivo di qualità ambientale che si intende perseguire;
- l'indicatore di prestazione. È il parametro utilizzato per valutare il livello di performance dell'edificio rispetto al criterio di valutazione; può essere di tipo quantitativo o qualitativo. Quest'ultimo viene descritto sotto forma di possibili scenari;
- l'unità di misura, solo nel caso di indicatore di prestazione quantitativo;
- il metodo di verifica, che definisce la procedura per determinare il livello di prestazione dell'edificio rispetto al criterio di valutazione;
- le strategie di riferimento, che indica a livello non vincolante e di indirizzo possibili soluzioni per ottimizzare la prestazione dell'edificio rispetto al criterio di valutazione;
- la scala di prestazione, che definisce il punteggio ottenuto dall'edificio in base al livello dell'indicatore di prestazione determinato applicando il metodo di verifica;
- i riferimenti legislativi; sono i dispositivi legislativi di riferimento a carattere cogente o rientranti nella prassi progettuale;
- i riferimenti normativi; sono le normative tecniche di riferimento utilizzate per determinare le scale di prestazione e le metodologie di verifica
- le note, in cui eventualmente possono essere chiariti aspetti relativi alla verifica del criterio.

Di seguito si riporta una tabella riepilogativa de crediti

A. Qualità del sito	
<i>A.1 Selezione del sito</i>	
A.1.5	Riutilizzo del territorio
A.1.6	Accessibilità al trasporto pubblico
A.1.8	Mix funzionale dell'area
A.1.10	Adiacenza ad infrastrutture

<b>A. Qualità del sito</b>
<b>A.3 Progettazione dell'area</b>
A.3.3 Aree esterne di uso comune attrezzate
A.3.4 Supporto all'uso di biciclette
<b>B. Consumo di risorse</b>
<b>B.1 Energia primaria non rinnovabile richiesta durante il ciclo di vita</b>
B.1.2 Energia primaria per il riscaldamento
B.1.5 Energia primaria per acqua calda sanitaria
<b>B.3 Energia da fonti rinnovabili</b>
B.3.2 Energia prodotta nel sito per usi termici
B.3.3 Energia prodotta nel sito per usi elettrici
<b>B.4 Materiali eco-compatibili</b>
B.4.1 Riutilizzo di strutture esistenti
B.4.6 Materiali riciclati/recuperati
B.4.7 Materiali da fonti rinnovabili
B.4.9 Materiali locali per finiture
B.4.10 Materiali riciclabili e smontabili
<b>B.5 Acqua potabile</b>
B.5.1 Acqua potabile per irrigazione
B.5.2 Acqua potabile per usi indoor
<b>B.6 Prestazioni dell'involucro</b>
B.6.2 Energia netta per il raffrescamento
B.6.3 Trasmittanza termica dell'involucro edilizio
B.6.4 Controllo della radiazione solare
B.6.5 Inerzia termica dell'edificio
<b>C. Carichi Ambientali</b>
<b>C.1 Emissioni di CO2 equivalente</b>
C.1.2 Emissioni previste in fase operativa
<b>C.3 Rifiuti solidi</b>
C.3.2 Rifiuti solidi prodotti in fase operativa
<b>C.4 Acque reflue</b>
C.4.1 Acque grigie inviate in fognatura
C.4.3 Permeabilità del suolo
<b>C.6 Impatto sull'ambiente circostante</b>
C.6.8 Effetto isola di calore
<b>D. Qualità ambientale indoor</b>
<b>D.2 Ventilazione</b>
D.2.5 Ventilazione e qualità dell'aria
<b>D.3 Benessere termoigrometrico</b>
D.3.2 Temperatura dell'aria nel periodo estivo
<b>D.4 Benessere visivo</b>
D.4.1 Illuminazione naturale
<b>D.5 Benessere acustico</b>
D.5.6 Qualità acustica dell'edificio
<b>D.6 Inquinamento elettromagnetico</b>
D.6.1 Campi magnetici a frequenza industriale (50Hertz)
<b>E. Qualità del servizio</b>
<b>E.1 Sicurezza in fase operativa</b>
E.1.9 Integrazione sistemi
<b>E.2 Funzionalità ed efficienza</b>
E.2.4 Qualità del sistema di cablatura
<b>E.6 Mantenimento delle prestazioni in fase operativa</b>
E.6.1 Mantenimento delle prestazioni dell'involucro edilizio
E.6.5 Disponibilità della documentazione tecnica degli edifici

Tab6. Crediti del protocollo ITACA, estratto dal Protocollo Nazionale Itaca 2012.

### **2.2.1 Consumo di risorse e carichi ambientali**

Al fine di valutare i consumi e le emissioni dell'edificio le aree di valutazione da consultare sono l'area consumo di risorse e l'area carichi ambientali. In particolare valutiamo i fabbisogni di energia utile non rinnovabile nell'area consumo di risorse attraverso i crediti:

- B1.2;
- B1.5;
- B6.2;

Ovvero i crediti che contabilizzano l'energia richiesta per i servizi di riscaldamento, raffrescamento e acqua calda sanitaria.

Per ciò che concerne la valutazione delle emissioni di CO<sub>2</sub>, si deve valutare al netto della richiesta totale di energia del fabbricato, pari all'ammontare di tutti i servizi, come l'energia richiesta viene prodotta, dunque servizio per servizio si indagherà sulle emissioni legate al vettore energetico utilizzato. Questa valutazione viene fatta attraverso il credito C.1.2 emissioni di CO<sub>2</sub> equivalenti previste in fase operativa.

Attraverso l'ausilio delle schede di valutazione, come visto in precedenza, è possibile avere tutte le indicazioni necessarie per effettuare le verifiche ed ottenere il relativo punteggio per questi crediti. Di seguito si riportano le schede di valutazione dei crediti sopracitati.

CRITERIO B.1.2	Destinazione d'uso	Criterio valido per:	
	RESIDENZIALE	Nuova costruzione	Ristrutturazione
<b>Energia primaria per il riscaldamento</b>			
<b>AREA DI VALUTAZIONE</b> B. Consumo di risorse	<b>CATEGORIA</b> B.1 Energia primaria non rinnovabile richiesta durante il ciclo di vita dell'edificio		
<b>ESIGENZA</b> Ridurre il fabbisogno di energia primaria per il riscaldamento.	<b>PESO DEL CRITERIO</b> nella categoria                      nel sistema completo		
<b>INDICATORE DI PRESTAZIONE</b> Rapporto percentuale tra l'energia primaria annua per il riscaldamento (EPI) e l'energia primaria limite (EPI,L).	<b>UNITA' DI MISURA</b> %		
<b>SCALA DI PRESTAZIONE</b>			
		%	PUNTI
NEGATIVO		>100,0	-1
SUFFICIENTE		100,0	0
BUONO		55,0	3
OTTIMO		25,0	5
<b>METODO E STRUMENTI DI VERIFICA</b>			
Per il calcolo dell'indicatore di prestazione e relativo punteggio, si proceda come segue:			
1. Calcolare l'indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale (EPI) per l'intero edificio di cui al d.lgs 192/2005 e ss.mm.ii e secondo la procedura descritta nella norma UNI TS 11300-2 (B);			
2. Calcolare il valore limite dell'indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale (EPI,L) di cui al d.lgs n. 192/2005 e ss.mm.ii (A);			
3. Calcolare il rapporto percentuale tra l'indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale dell'edificio da valutare (EPI) e il valore limite (EPI,L): $B/A \times 100$ ;			
4. Confrontare il valore calcolato con i benchmark della scala di prestazione e attribuire il punteggio.			
N.B.(1) In assenza di impianti di termici per la climatizzazione invernale il calcolo dell'indice EPI deve essere effettuato secondo le modalità di cui all'Allegato 1 (Allegato A, paragrafo 2 - Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici) del DM 26/6/2009.			
<i>Protocollo ITACA Nazionale 2011 - Versione basata su SBT007 di iiSBE</i>			

Fig2. Criterio B.1.2 , estratto dal Protocollo Nazionale Itaca 2012.

CRITERIO B.1.5	Destinazione d'uso	Criterio valido per:	
	RESIDENZIALE	Nuova costruzione	Ristrutturazione
<b>Energia primaria per la produzione dell'acqua calda sanitaria</b>			
<b>AREA DI VALUTAZIONE</b>	<b>CATEGORIA</b>		
B. Consumo di risorse	B.1 Energia primaria non rinnovabile richiesta durante il ciclo di vita dell'edificio		
<b>ESIGENZA</b>	<b>PESO DEL CRITERIO</b>		
Ridurre i consumi di energia primaria per la produzione di ACS.	nella categoria	nel sistema completo	
<b>INDICATORE DI PRESTAZIONE</b>	<b>UNITA' DI MISURA</b>		
Indice di prestazione energetica per la produzione dell'acqua calda sanitaria (Epacs)	kWh/m <sup>2</sup>		
<b>SCALA DI PRESTAZIONE</b>			
	kWh/m <sup>2</sup>	PUNTI	
NEGATIVO	>18.0	-1	
SUFFICIENTE	18.0	0	
BUONO	12.6	3	
OTTIMO	9.0	5	
<b>METODO E STRUMENTI DI VERIFICA</b>			
Per il calcolo dell'indicatore di prestazione e relativo punteggio, si proceda come segue:			
1. Calcolare l'energia termica richiesta per scaldare una quantità d'acqua alla temperatura desiderata (Qh,w) in accordo con la procedura descritta al punto 5.2 della norma UNI TS 11300-2;			
2. Calcolare le perdite dell'impianto per ACS (Ql,w) e il fabbisogno di energia elettrica per gli ausiliari degli impianti di produzione di acqua calda sanitaria (Qaux,w) in accordo con la procedura descritta al punto 6.9 della norma UNI TS 11300-2;			
3. Calcolare il contributo totale di energia termica per ACS prodotta dagli impianti a fonte energetica rinnovabile (Qg, w)			
4. Calcolare il contributo totale di energia ausiliaria elettrica per ACS prodotta dagli impianti a fonte energetica rinnovabile (Qg,el,w)			
5. Calcolare il fabbisogno di energia primaria per ACS (EPacs) con la seguente formula:			
$EPacs = (Qh,w + Ql,w - Qg, w) * fp + (Qaux,w - Qg,el,w) * fpel$			
dove:			
fp: fattore di conversione dell'energia primaria del combustibile utilizzato			
fpel: fattore di conversione dell'energia primaria dell' energia elettrica			
6. Confrontare il valore calcolato con i benchmark della scala di prestazione e attribuire il punteggio.			
N.B.(1) I fattori di conversione dell'energia primaria sono quelli deliberati dall'Autorità per l'Energia elettrica e il Gas (AEEG) per l'anno in corso.			
N.B.(2) Nell'attesa dell'emanazione della norma UNI TS 11300 - 4, per il calcolo dell'energia prodotta da fonti rinnovabili si consigliano le seguenti norme:			
- UNI 15316-4-2 (pompe di calore per impianti geotermici);			
- UNI 15316-4-3 (collettori solari);			
- UNI 15316-4-5 (teleriscaldamento se alimentato da fonti energetiche rinnovabili);			
- UNI 15316-4-6 (fotovoltaico)			
- UNI 15316-4-7 (biomasse).			

Fig3. Criterio B.1.5 , estratto dal Protocollo Nazionale Itaca 2012.

CRITERIO B.6.2	Destinazione d'uso		Criterio valido per:	
		RESIDENZIALE	Nuova costruzione	-
<b>Energia netta per il raffrescamento</b>				
<b>AREA DI VALUTAZIONE</b> B. Consumo di risorse		<b>CATEGORIA</b> B.6 Prestazioni dell'involucro		
<b>ESIGENZA</b> Ridurre il fabbisogno energetico ottimizzando le soluzioni costruttive e le scelte architettoniche in particolare relativamente all'involucro.		<b>PESO DEL CRITERIO</b> nella categoria nel sistema completo		
<b>INDICATORE DI PRESTAZIONE</b> Rapporto percentuale tra l'indice di prestazione energetica per il raffrescamento estivo dell'involucro da valutare (EPe,invol) e l'indice di prestazione energetica per il raffrescamento estivo dell'involucro edilizio limite (EPe,invol,lim).		<b>UNITA' DI MISURA</b> %		
<b>SCALA DI PRESTAZIONE</b>				
		%	PUNTI	
	NEGATIVO	>100,0	-1	
	SUFFICIENTE	100,0	0	
	BUONO	60,0	3	
	OTTIMO	33,3	5	
<b>METODO E STRUMENTI DI VERIFICA</b>				
<p>Per il calcolo dell'indicatore di prestazione e relativo punteggio, si proceda come segue:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Calcolare l'indice di prestazione energetica per il raffrescamento estivo dell'involucro edilizio (EPe,invol) secondo le indicazioni contenute nel DPR 59/09 e secondo la procedura descritta nella norma UNI TS 11300-1 (B);</li> <li>2. Calcolare l'indice di prestazione energetica per il raffrescamento estivo dell'involucro edilizio limite (EPe,invol,lim) da DPR 59/09 (A);</li> <li>3. Calcolare il rapporto percentuale tra l'indice di prestazione energetica per il raffrescamento estivo dell'involucro (EPe,invol) dell'edificio da valutare e l'indice di prestazione energetica per il raffrescamento estivo dell'involucro edilizio limite (EPe,invol,lim): <math>B/A \times 100</math>;</li> <li>4. Confrontare il valore calcolato con i benchmark della scala di prestazione e attribuire il punteggio.</li> </ol>				
Protocollo ITACA Nazionale 2011 - Versione basata su SBTool 2007 di iiSBE				

Fig4. Criterio B.6.2 , estratto dal Protocollo Nazionale Itaca 2012.

CRITERIO C.1.2	Destinazione d'uso	Criterio valido per:	
	RESIDENZIALE	Nuova costruzione	Ristrutturazione
<b>Emissioni previste in fase operativa</b>			
<b>AREA DI VALUTAZIONE</b> C. Carichi Ambientali	<b>CATEGORIA</b> C.1 Emissioni di CO2 equivalente		
<b>ESIGENZA</b> Ridurre la quantità di emissioni di CO2 equivalente da energia primaria non rinnovabile impiegata per l'esercizio annuale dell'edificio.	<b>PESO DEL CRITERIO</b> nella categoria                      nel sistema completo		
<b>INDICATORE DI PRESTAZIONE</b> Rapporto percentuale tra la quantità di emissioni di CO2 equivalente annua prodotta per l'esercizio dell'edificio in progetto e la quantità di emissioni di CO2 equivalente annua prodotta per l'esercizio di un edificio standard con la medesima destinazione d'uso.	<b>UNITA' DI MISURA</b> %		
<b>SCALA DI PRESTAZIONE</b>			
		%	PUNTI
NEGATIVO		>100,0	-1
SUFFICIENTE		100,0	0
BUONO		55,0	3
OTTIMO		25,0	5
<b>METODO E STRUMENTI DI VERIFICA</b>			

Per il calcolo dell'indicatore di prestazione e relativo punteggio, si proceda come segue:

1. Calcolare la quantità di emissioni di CO2 equivalente annua prodotta per l'esercizio dell'edificio (B), mediante la seguente formula:

$$B = \sum(Q_{del,i} * k_{em,i}) + (\sum Q_{el,i} - Q_{el,exp}) * k_{em,el}$$

dove:

Q<sub>del,i</sub>: energia fornita non elettrica per la climatizzazione invernale e ACS dal vettore energetico i-esimo secondo la serie UNI TS 11300 [kWh/m<sup>2</sup>];

k<sub>em,i</sub>: fattore di emissione di CO2 del vettore energetico i-esimo utilizzato per la climatizzazione invernale e ACS [kgCO<sub>2</sub>/kWh]

Q<sub>el,i</sub>: energia elettrica prelevata dalla rete per la climatizzazione invernale e ACS dal vettore energetico i-esimo secondo la serie UNI TS 11300 [kWh/m<sup>2</sup>];

Q<sub>el,exp</sub>: energia elettrica annualmente esportata [kWh/m<sup>2</sup>]

k<sub>em,el</sub>: fattore di emissione di CO2 dell'energia elettrica [kgCO<sub>2</sub>/kWh]

I fattori di emissione di CO2 dipendono dal combustibile utilizzato:

Gas naturale 0,1998 kgCO<sub>2</sub>/kWh  
 GPL 0,2254 kgCO<sub>2</sub>/kWh  
 Gasolio 0,2642 kgCO<sub>2</sub>/kWh  
 Olio combustibile 0,2704 kgCO<sub>2</sub>/kWh  
 Biomasse 0,0 kgCO<sub>2</sub>/kWh  
 Energia elettrica 0,4332 kgCO<sub>2</sub>/kWh  
 Energia da teleriscaldamento: valore dichiarato dal fornitore

2. Calcolare la quantità di emissioni di CO2 equivalente annua prodotta per l'esercizio di un edificio standard con la medesima destinazione d'uso (A), mediante la seguente formula:

$$A = [(EPI,L + EPacs,lim) * k_{em,ng}]$$

dove:

EPI,L: indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale limite (criterio B.1.2) [kWh/m<sup>2</sup>];

EPacs,lim: indice di prestazione energetica per la produzione dell'acqua calda sanitaria limite (=18) [kWh/m<sup>2</sup>];

k<sub>em,ng</sub>: fattore di emissione di CO2 del gas naturale [kgCO<sub>2</sub>/kWh]

3. Calcolare il rapporto percentuale tra la quantità di emissioni di CO2 equivalente annua prodotta dall'edificio da valutare (B) e la quantità di emissioni di CO2 equivalente annua prodotta per l'esercizio di un edificio standard con la medesima destinazione d'uso (A): B/A x 100;

4. Confrontare il valore calcolato con i benchmark della scala di prestazione e attribuire il punteggio.

Fig5. Criterio C.1.2 , estratto dal Protocollo Nazionale Itaca 2012.

### 2.3 Confronto tra certificazioni

Alcuni dei temi più ferventemente discussi negli ultimi anni nell'ambito delle certificazioni di sostenibilità ambientale sono: Quale certificazione è la migliore? È possibile comparare con profitto certificazioni con strutture e origini diverse?

Questi quesiti oltre a costituire una tematica particolarmente interessante da un punto di vista accademico, assumono particolare rilievo all'interno del mercato immobiliare internazionale. Sono infatti moltissime le società che operano nel settore dell'edilizia che ogni giorno si pongono queste domande con il fine di certificare i loro edifici con il protocollo migliore, ovvero quello che nell'immediato futuro farà acquisire un valore maggiore agli edifici di loro proprietà. Inoltre la forza motrice economica che spinge gli investitori a trovare delle risposte per aumentare i loro profitti, si coniuga perfettamente con l'interesse ambientale di ridurre le emissioni di gas clima alternanti, poiché investimenti nel settore dell'edilizia che spingono verso sistemi più innovativi ed efficienti comportano una maggiore facilità di interazione dell'occupante con l'ambiente costruito, un risparmio di costi di gestione nel medio lungo periodo e conseguentemente una riduzione delle emissioni e un aumento del valore dell'immobile.

In ragione di quanto detto molte società di costruzioni, non solo chiedono agli studi di progettazione consulenze per capire che protocollo utilizzare ma cominciano a finanziare studi per arrivare ad una risposta definitiva ed affidabile. Questo fenomeno, come riportato da uno studio di Hirigoyen, Ratcliffe and Davey-Attlee del 2008 si è sviluppato con la diffusione delle certificazioni negli anni 2000 ed ha portato gli investitori internazionali a chiedere una standardizzazione dei criteri e delle strutture del protocollo.

Nonostante le numerose ricerche condotte, anche e soprattutto in ambito accademico, non è stato ancora possibile pervenire né ad una risposta univoca a questi interrogativi né ad una soluzione che consentisse di standardizzare le certificazioni.

Il motivo di tale difficoltà è stato ben argomentato da un paper a firma di Reed, Bilos, Wilkinson e Schulte del 2009, in questo scritto infatti sottolineano come le problematiche che emergono in sede di analisi e comparazione siano legate al fatto che ogni protocollo prima di essere un protocollo internazionale è un protocollo nazionale, dunque caratterizzato e pensato per le esigenze particolari della specifica nazione, ciò fa sì che sebbene i protocolli LEED e BREEAM si siano diffusi in maniera significativa in tutto il globo, la percentuale di maggiore applicazione, così come per gli altri protocolli, la troviamo nei paesi d'origine.

Un classico esempio di questo fenomeno riguarda la riqualificazione e il riuso del patrimonio immobiliare dismesso, essendoci differenze sostanziali tra le tipologie costruttive ed edilizie che sono state adottate nel corso dei secoli tra i diversi paesi del mondo, risulta complicato creare uno standard universale; pertanto ogni certificazione suggerire i criteri progettuali che più si prestano alla riqualificazione del proprio patrimonio architettonico.

Altri due aspetti che hanno fatto detestare una certa perplessità nell'analisi di questi protocolli sono la valutazione dell'efficienza del calcolo del risparmio idrico e l'utilizzo di strumenti univoci per la valutazione del calcolo del risparmio energetico in paesi con zone climatica estremamente dissimili.

Tra tutti il tema del risparmio idrico risulta probabilmente il più controverso, questo in ragione del fatto che lo stesso protocollo, con stessa pesatura del criterio di risparmio idrico, viene applicato indifferentemente in regioni del mondo con grande disponibilità d'acqua e in regioni con scarsa presenza della stessa. In aggiunta a quanto detto l'efficacia delle soluzioni proposte viene minata dall'arretratezza delle infrastrutture pubbliche e dalla cattiva gestione della manutenzione delle stesse in molte aree del mondo, alla luce di queste considerazioni pare dunque legittimo chiedersi se il valore del calcolo e il peso che ha in certe regioni del mondo è valido.

Per i motivi elencati molti degli studi hanno condotto ad un raffronto più di forma e di pesatura delle diverse tematiche ambientali all'interno dei vari protocolli, che sul successo e il diverso impatto che le singole strategie hanno a livello di emissioni. Le strutture estremamente dissimili dei protocolli infatti non consentono un confronto diretto tra i risultati.

Al problema del raffronto si affiancano inoltre la valutazione sull'efficacia di questi protocolli, questo tema è stato oggetto di un'analisi da parte di Hirigoyen, Ratcliffe e Davey-Attlee, nello studio infatti si sottolinea come nessun protocollo garantisca un contemporaneo raggiungimento dei tre obiettivi principali della sostenibilità, ovvero un miglioramento di carattere sociale, ambientale ed economico.

Un'ulteriore critica al mondo delle certificazioni arriva da uno studio di Drejeris e Kavolynas del 2013, volendo indagare la possibilità di migliorare i protocolli di certificazione, questi fanno notare come le analisi condotte dalla maggioranza delle certificazioni non prendono in analisi l'aspetto economico, non viene infatti realizzato né un'analisi costo beneficio per valutare a che costo si ottiene un risparmio in termini di

emissioni né un'analisi costi ricavi nella quale si espliciti il tempo di ritorno dell'investimento.

Sebbene alla domanda posta da Drejeris e Kavolynas ovvero se è possibile migliorare gli strumenti di certificazione, la risposta è con ogni probabilità affermativa, bisogna ricordare che, come ampiamente illustrato nel seguente elaborato, rimane indubbia la bontà di questi strumenti nel favorire la ricerca, nel coniugare seppur in maniera imperfetta esigenze di mercato con esigenze ambientali e di sensibilizzare il mondo delle costruzioni favorendo un cambio di paradigma nella progettazione e nella realizzazione delle opere.

## **2.4 LEED BREEAM e ITACA**

La maggior parte degli studi condotti sulle certificazioni di sostenibilità hanno preso in analisi le certificazioni che si sono affermate con più forza nell'ambito internazionale ovvero BREEAM, LEED e Green Star, tuttavia nel presente elaborato si è deciso di analizzare i protocolli più diffusi in Italia ovvero BREEAM, LEED e il nostro standard nazionale ovvero ITACA.

I tre protocolli sono accomunati da tre fattori principali, ovvero dall'essere degli standard a base volontaria, dall'applicabilità ad una moltitudine di edifici con destinazione diversa e dal distinguere gli interventi di nuove costruzioni da quelli di ristrutturazione.

Tuttavia mentre sia il protocollo anglosassone che quello americano individuano prima la tipologia di intervento e poi la destinazione d'uso, nel caso di ITACA il processo è inverso.

Uno degli studi più importanti sulle possibilità e le modalità con cui affrontare una comparazione dei protocolli è di Binh, Nguyen e Hasim del 2011.

Questo studio crea una struttura orizzontale costituita dai seguenti aspetti:

- Popolarità e influenza, questa area di confronto vede nettamente in testa la certificazione LEED che si è affermata come la più diffusa nel mondo, leggermente dietro la certificazione BREEAM che è molto diffusa in Europa e per ultima ITACA che non riesce ad andare oltre i confini nazionali.
- Disponibilità, questo è un aspetto che accumuna tutte e tre i protocolli poiché per tutti sono disponibili molte informazioni attraverso i siti e i manuali online.
- Metodologia, per ciò che concerne la metodologia vediamo come mentre in BREEAM e LEED si assegna un certo punteggio massimo in base al credito

valutato e poi si effettua una somma dei crediti ottenendo un livello di certificazione derivante da questo risultato, in ITACA si dà una prestazione che va da -1 a 5 ad ogni credito e poi la si moltiplica per un peso in termini percentuali.

- Applicabilità, l'applicabilità riguarda le varie aree di valutazione dei protocolli, qui troviamo le differenze più significative sia in termini di peso dato alle varie tematiche che di terminologie utilizzate.
- Accuratezza e verifica, per ottenere le certificazioni si passa attraverso revisioni e validazioni da parte degli enti preposti.
- Facilità di utilizzo, la facilità di utilizzo è strettamente legata per tutte le certificazioni alla tipologia e al grado di complessità dell'intervento.
- Presentazione dei risultati, i risultati vengono presentati in maniera differente, mentre nei protocolli LEED e BREEAM si assegna un livello che va da Standard a Platinum per il LEED e da Superato ad Eccellente per il BREEAM, nel protocollo ITACA il livello della certificazione si desume dalla % raggiunta.

È evidente come si trovino molte più analogie tra il certificato BREEAM e LEED rispetto a quest'ultimi con il sistema ITACA, ciò in ragione del fatto che LEED ha preso spunto dalla certificazione BREEAM in termini di struttura e processo di valutazione.

Nonostante le grandi similitudini un'analisi di Hirigoyen, Ratcliffe e Davey-Attlee del 2008 sostiene che è impossibile paragonare una certificazione LEED Platinum ad una BREEAM Eccellente, in quanto lo stesso progetto in molti casi studio ha fornito livelli gerarchicamente diversi nelle due certificazioni.

La ragione di tale differenza secondo lo studio è da ricercare tanto nei metodi di calcolo delle due certificazioni quanto nel differente peso assegnato alle varie tematiche. Al fine di superare tali problematiche e comparare il grado di efficienza dei due sistemi, uno studio di Ozge Suzer pubblicato sulla rivista Building and Environment ha comparato edifici che hanno acquisito sia la certificazione LEED che BREEAM. Dall'analisi su edifici certificati con il doppio standard è emerso che le istanze che prese in carico dalle due certificazioni hanno una corrispondenza pari al 83%. Inoltre si evince dallo studio che la certificazione BREEAM è più articolata e tocca più tematiche rispetto al competitor americano. Questo fa sì che per raggiungere il medesimo livello di certificazione un edificio certificato BREEAM deve possedere prestazioni migliori di un edificio LEED.

### **2.4.1 Impatto della sezione energia nelle certificazioni**

Definite le principali differenze e similitudini tra le strutture delle certificazioni, l'obiettivo di questo capitolo è quello di indagare le differenze presenti nelle metodologie di calcolo per i fabbisogni energetici ed il peso che questo aspetto ha all'interno dei singoli protocolli.

Per ciò che riguarda proprio la pesatura dell'energia all'interno del protocollo, un paper dell'Università di Padova a firma dell'Ing. Caini e della Prof. Rossana Paparella effettua un confronto tra le tre certificazioni raggruppando in 12 aree di interesse tutti i crediti presenti, per poi valutarne l'impatto sul risultato finale. Per effettuare questo studio sono stati scelti le versioni dei protocolli più simili tra di loro al fine di ottenere dei risultati il più possibili aderenti alla realtà. Lo studio ha dunque analizzato i singoli crediti delle certificazioni al fine di inserirli nell'area di interesse più opportuna, così facendo sono state costituite aree di interesse con tematiche omogenee.

Una delle dodici aree definite è proprio quella dell'energia, di seguito si riporta una tabella riepilogativa dei crediti inseriti nella sezione energia:

5-ENERGIA	CRITERIO	CODICE	PESO
<b>COMMISSIONING DEI SISTEMI ENERGETICI</b>			
LEED	commissioning di base dei sistemi energetici dell'edificio	EA P 1	obb.
LEED	commissioning avanzato dei sistemi energetici	EA C 3	1.80%
BREEAM			
P.ITACA			
<b>EFFICIENZA ENERGETICA</b>			
LEED	prestazioni energetiche minime	EA P 2	Obb.
LEED	ottimizzazione delle prestazioni energetiche	EA C 1	Da 0.9% a 17.1%
BREEAM	efficienza energetica	Ene 01	11.00%
BREEAM	strumenti per l'efficienza energetica	Ene 08	1.50%
P.ITACA	energia primaria per il riscaldamento	B 1.2	6.00%
P.ITACA	energia primaria per l'acqua calda sanitaria	B1.5	6.00%
<b>FONTI RINNOVABILI</b>			
LEED	produzione in sito di energie rinnovabili	EA C 2	Da 0,9% a 6,3%
BREEAM			
P.ITACA	energia rinnovabile per usi termici	B 3.2	2,0%
P.ITACA	energia prodotta nel sito per usi elettrici	B 3.3	2,0%
<b>ENERGIA VERDE</b>			
LEED	energia verde	EA C 6	1,8%
BREEAM	tecnologie a basso o zero contenuto di carbonio	Ene 04	1,5%
P.ITACA			
<b>LUCI ESTERNE</b>			
LEED			
BREEAM	luci esterne	Ene 03	0,7%
P.ITACA			

Tab7. Sezione energia comune tra ITACA BREEAM e LEED ,Rossana Paparella, Mauro Caini Dipartimento Ingegneria Civile Edile ed Ambientale (ICEA), Università di Padova, Comparison among environmental certification systems. Relationships between systems and project. Case study: the recovery of aRSA.

In base ai calcoli effettuati in questa ricerca si è visto come il peso di quest'area di interesse è maggiore per il LEED rispetto alle altre due certificazioni. Inoltre all'interno

della certificazione LEED la sola efficienza energetica incide per circa il 17% del peso totale.

5-ENERGIA	PESO TOTALE	PUNTI TOTALI
LEED	obbligatorio	Obbligatorio
LEED	obbligatorio	Obbligatorio
LEED	27%	30
BREEAM	16,2%	23
P.ITACA+	16%	

Tab8. Peso della sezione energia nei diversi protocolli, Rossana Paparella, Mauro Caini Dipartimento Ingegneria Civile Edile ed Ambientale (ICEA), Università di Padova, Comparisonamong environmental certification systems.Relationships between systems and project.Case study:the recovery of aRSA.

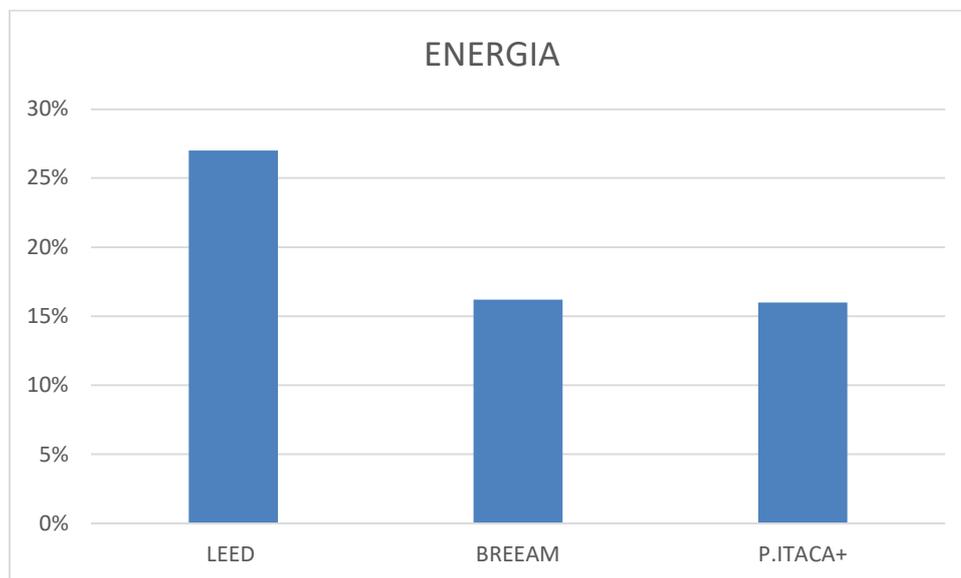


Fig6. Peso della sezione energia nei diversi protocolli ,Rossana Paparella, Mauro Caini Dipartimento Ingegneria Civile Edile ed Ambientale (ICEA), Università di Padova, Comparisonamong environmental certification systems.Relationships between systems and project.Case study:the recovery of aRSA.

## 2.4.2 Modalità di calcolo e normativa di riferimento

Le modalità di calcolo per l'efficienza energetica costituiscono la maggiore differenza tra le certificazioni, è possibile infatti effettuare delle distinzioni in base a:

- Tipo di calcolo utilizzato nell'analisi e normativa di riferimento;
- Misura dell'efficienza;

Per ciò che riguarda il tipo di calcolo, la certificazione LEED avendo come riferimento la normativa americana ASHRAE 90-1-2010, impone un calcolo dinamico orario, è necessario dunque effettuare un calcolo sulle 8760 ore dell'anno.

Il protocollo BREEAM invece rifacendosi alle normative nazionali consente ai progettisti di effettuare calcoli con le modalità previste dalle stesse, nel caso di applicazione sul suolo italiano sarà dunque possibile effettuare i calcoli in regime semi-stazionario, la stessa modalità di calcolo dunque viene utilizzata anche dal protocollo ITACA.

Quindi mentre per il protocollo ITACA e LEED abbiamo una normativa fissa di riferimento, per il protocollo BREEAM la normativa e conseguentemente il tipo di calcolo varia in funzione della nazione in cui si opera. A partire da questi dati è possibile asserire che il protocollo LEED con il calcolo sulle 8760 dovrebbe fornire dei risultati più aderenti alla realtà rispetto agli altri due protocolli.

Per ciò che riguarda la misura dell'efficienza vediamo come i protocolli LEED e BREEAM adottino un approccio simile, ovvero confrontano i risultati derivanti dalle analisi dell'edificio di progetto raggruppando i consumi dei singoli servizi uno o più indicatori ottenendo il risparmio rispetto all'edificio di progetto. Il protocollo ITACA invece effettua dei calcoli separati in base al servizio, sono presenti infatti crediti che riguardano il servizio di riscaldamento, acqua calda sanitaria e raffrescamento. Dunque è possibile prendere un ottimo punteggio su un servizio e un punteggio più scadente in un altro.

### 3. IES VE

Il calcolo energetico in regime dinamico consente di indagare il reale comportamento termo-energetico dell'edificio attraverso l'impiego di una simulazione su base oraria. Questo tipo di analisi ci consente di valutare, con grande precisione, i consumi e le dispersioni ora per ora. Questa si differenzia dalla simulazione in regime semi-stazionario, utilizzata comunemente per la certificazione energetica, poiché quest'ultima fa riferimento a valori medi mensili o annuali.

Le simulazioni effettuate in regime semi-stazionario consentono di indagare solo parzialmente le reali prestazioni di un edificio perché partono dall'assunto che la variazione periodica delle temperature e del contributo della radiazione solare possono essere trascurati, per cui è possibile utilizzare dati climatici medi mensili.

Le simulazioni effettuate in regime dinamico, invece, permettono un'analisi molto più realistica e completa, valutando nel dettaglio la risposta dell'involucro edilizio in termini inerziali, sollecitato da vari fattori quali: la temperatura esterna, la radiazione solare, la ventilazione naturale, il comportamento degli occupanti, l'impianto di climatizzazione.

Questo tipo di indagine utilizza dei dati orari di temperatura e umidità invece dei dati di design della simulazione semi-stazionaria per il calcolo dei fabbisogni energetici, questo fa sì che le indagini vengano effettuate per le 8760 annue rendendo il calcolo più oneroso da un punto di vista computazionale ma anche e soprattutto molto più preciso nell'output dei risultati.

Questo aumento della precisione porta con sé un duplice vantaggio, il primo è quello di avere un'idea più precisa dei consumi attesi dall'edificio, il secondo consiste nel fatto che la determinazione di carichi più precisi ci consente di dimensionare meglio i sistemi impiantistici, evitando così il sovradimensionamento di questi sistemi che comporta un aumento dei costi di installazione, gestione e manutenzione; inoltre le macchine termiche non lavorando al carico ideale lavorano con rendimenti più bassi che comportano un ulteriore aumento dei consumi.

Questo tipo di valutazioni possono essere condotte per i servizi di riscaldamento, raffrescamento, umidificazione, deumidificazione, illuminazione.

### 3.1 Il software IES virtual environment

L'utilizzo di un software di simulazione energetica certificato per la modellazione dinamica finalizzata all'ottenimento del credito Optimize Energy Performance oltre ad essere un requisito richiesto dalla normativa ASHRAE 90-1 del 2010, costituisce un elemento fondamentale per ottenere dei risultati di consumo il più possibili aderenti con la realtà. Uno studio di Yair Schwartz , Rokia Raslan pubblicato sulla rivista Energy and Buildings ha evidenziato che l'utilizzo di diversi software, seppur certificati, conduce a risultati diversi in termini di carichi termici e consumi. Ciò secondo i risultati dell'indagine condotta influisce parzialmente sui crediti legati al risparmio dell'energia e marginalmente sul punteggio complessivo ottenibile per la certificazione LEED.

Tra tutti i software di simulazione dinamica presenti in commercio validati per la simulazione energetica finalizzata all'ottenimento della certificazione LEED, per il presente lavoro è stato scelto il software IES Virtual Environment, questo è caratterizzato da un insieme di applicazioni distinte in moduli, con un'interfaccia utente comune, che possono interagire tra loro.

I moduli si distinguono nelle categorie:

- Model builder (Model IT e Component), per la creazione o l'importazione del modello geometrico 3D e per la caratterizzazione delle proprietà termo-fisiche dei componenti di involucro;
- Solar (SunCast), per l'analisi degli ombreggiamenti, i cui dati sono utilizzati per i calcoli energetici;
- Energy (Apache, Apache HVAC, MacroFlo e Vista), di cui si tratterà meglio in seguito;
- Lighting (Flucs, LightPro e RadianceIES), di cui si tratterà meglio in seguito;
- Cost & value (CostPlan, LifeCycle e Deft), per le valutazioni economiche;
- Egress (Lisi e Simulex);
- Mechanical (IndusPro e PiscesPro);
- CFD (MicroFlo), per l'analisi fluidodinamica computazionale, sia interna che esterna.

Uno dei punti di forza del programma è la facilità di interazione tra i moduli, ad esempio il modulo Apache può utilizzare come dati in ingresso i risultati di calcolo delle altre applicazioni, come SunCast, MacroFlo e Radiance.

La categoria Energy comprende i moduli per la simulazione termo-energetica in regime dinamico:

- Apache, analizza i processi di trasferimento di calore per convezione, conduzione e irraggiamento, tra l'esterno e l'interno dell'edificio e all'interno dell'edificio stesso;
- Apache HVAC, consente l'analisi dei singoli componenti dell'impianto termo frigorifero;
- MacroFlo, è un tool specifico che consente l'analisi del fenomeno del trasferimento di masse d'aria umida tra ambiente esterno e ambiente interno e tra gli ambienti interni;
- Vista Pro, costituisce l'interfaccia grafica per la visualizzazione dei risultati delle simulazioni.

Per effettuare una simulazione termo energetica di un edificio attraverso il software IES Virtual Environment, è necessario percorrere i seguenti passi:

- Creazione o importazione del modello geometrico 3D in ModelIT;
- Attribuzione del file climatico;
- Definizione dei profili;
- Creazione dei materiali che costituiscono i pacchetti di involucro;
- Creazione delle stratigrafie di involucro;
- Creazione dei template e loro assegnazione alle room;
- Per analisi più dettagliate, inserimento dei dati e simulazione in altri moduli, come MacroFlo, ApacheHVAC, Radiance;
- Definizione delle impostazioni della simulazione dinamica e dei suoi output;
- Simulazione in Apache;
- Visualizzazione dei risultati.

L'edificio 3D definito in ModelIT può essere creato a partire da una base DXF attraverso i comandi di editing del programma oppure può essere importato da altri software di

modellazione 3D come Revit, tuttavia quest'ultima opzione è poco utilizzata in quanto porta con sé non pochi problemi di lettura del modello ed inoltre gli strumenti di editing di IES sono di veloce e facile utilizzo.

Nel modello 3D realizzato gli elementi di involucro come muri, finestre e solai non hanno alcuno spessore, questo verrà assegnato direttamente durante la determinazione della stratigrafia, inoltre il programma prende in ingresso tutti i dati essenziali per la determinazione dei carichi termici come l'emissività delle superfici ma non dà la possibilità di assegnare al modello tutti i dettagli superflui ai fini del calcolo termico energetico come ad esempio il colore delle stesse.

Ogni elemento creato può essere successivamente spostato, copiato, modificato attraverso i comandi di editing. Per ciò che concerne la modellazione effettiva, il principio di funzionamento su cui è basato il software consiste nella definizione di blocchi. A seconda del livello di dettaglio richiesto, è possibile effettuare una modellazione per zone termiche (thermal block) o dettagliata al singolo ambiente. Gli ambienti, o le zone termiche, in cui è l'edificio è suddiviso, sono dette rooms.

Il software identifica in modo automatico i confini di ogni faccia del blocco realizzato, capendo così se si tratta di una superficie di parete, copertura o pavimento.

Definiti gli elementi che costituiscono l'involucro opaco verticale ed orizzontale è possibile aggiungere a questi ultimi finestre, lucernari e fori. Le caratteristiche energetiche di questi elementi saranno poi definite, così come per gli elementi opachi, all'interno della sezione Apache durante la modellazione delle stratigrafie.

Il database dei materiali è diviso in sezioni:

- muri esterni;
- partizioni interne opache;
- tetti;
- solai contro terra;
- solai;
- porte;
- elementi vetrati;

All'interno di ogni sezione si possono scegliere delle stratigrafie generiche definite dal programma, oppure si possono creare le stratigrafie di progetto scegliendo i materiali dall'archivio o creandone di nuovi.

Per ogni tipologia, è possibile definire le caratteristiche termo energetiche, come la trasmittanza o il fattore solare per i vetri.

Definite le caratteristiche dell'involucro nel dettaglio è possibile passare alla determinazione dei profili di utilizzo, ovvero di quei profili che descrivono la variazione nel tempo dei parametri, ad esempio il funzionamento degli impianti, il numero di persone presenti in un ambiente, la potenza delle luci o altri carichi interni presenti.

Per ciascun profilo è necessario definire la variazione durante l'arco della giornata ovvero il daily profile, successivamente ad ogni giorno della settimana va assegnato un profilo giornaliero weekly profile. Nel caso in cui è presente una variazione durante l'anno, vengono assegnati i profili settimanali ai diversi periodi dell'anno yearly profile.

Esistono due tipi di profili:

- absolute: pari al valore assoluto della variabile nella sua unità di misura. Usato, ad esempio, per la variazione nel tempo dei set point di temperatura;
- modulating: viene definita la variazione percentuale nel tempo (valori compresi tra 0 e 1). Usato, ad esempio per regolare l'apertura delle finestre, l'attivazione delle schermature o per definire la variazione dei carichi interni.

Entrambi i tipi di profili possono essere definiti in funzione di variabili, climatiche o meno, attraverso un'equazione (formula profile).

Ad esempio, si può regolare l'apertura delle finestre se la temperatura esterna o quella interna alla *room* raggiungono un certo valore limite.

I template sono un insieme di caratteristiche della *room* cui sono assegnati. Si dividono in:

- Room Attributes;
- Constructions;
- MacroFlo Opening Types;
- Thermal Conditions;
- Electric Lighting;
- Radiance Surface Properties;

Verrà di seguito descritta la sezione "Thermal Conditions". Per le altre si rimanda alla guida del software, citata all'interno della bibliografia.

Nei thermal template vengono specificate tutte le caratteristiche degli impianti in termini di:

- profili di funzionamento;
- set point;
- efficienza stagionale dei generatori e degli ausiliari;
- controllo dell'umidità;
- ricambi d'aria;

Inoltre vengono definiti tutti i carichi interni per ogni room, indicando:

- Numero di persone;
- Potenza assorbita dai computer;
- Potenza assorbita dalle luci;
- Carichi interni generici;

Per ogni carico interno viene definito il calore sensibile e/o latente massimo e i profili (modulating) di variazione della loro presenza nel tempo all'interno della room.

### **3.1.1 IES VE Apache. Metodo di calcolo**

Il modulo *Apache* consente di effettuare un'analisi dettagliata delle prestazioni dell'edificio, dell'involucro e degli impianti. Attraverso queste indagini si può ipotizzare una ottimizzazione del sistema involucro impianti valutando i parametri rappresentativi dello stato di comfort e i consumi energetici.

I processi di trasferimento di calore per conduzione, convezione e irraggiamento per ogni elemento dell'edificio vengono simulati separatamente e poi integrati tra loro e con gli apporti interni, i ricambi d'aria e con i dati sugli impianti.

La simulazione si può riferire ad un periodo di tempo che va da un giorno ad un anno, con time step da un'ora a sei minuti, all'aumentare del tempo in cui viene effettuata la simulazione ed al diminuire del time step aumenta esponenzialmente il tempo di calcolo del modello.

Al fine di raggiungere i risultati ricercati è necessario fornire nella sezione Apache i seguenti dati in ingresso:

- la localizzazione del sito (latitudine e longitudine) e i dati climatici, ovvero i dati ora per ora, di temperatura (bulbo secco e bulbo umido), della radiazione (diretta, diffusa e globale), dei venti, della copertura nuvolosa, dell'umidità. Questi dati vengono forniti per la maggior parte delle aree direttamente dal database presente all'interno del programma;
- la geometria dell'edificio, definita in ModelIT;

- la presenza di ostruzioni o elementi che causano fenomeni di auto ombreggiamento, calcolati attraverso il modulo SunCast;

Questo modulo calcola, ogni ora del quindicesimo giorno di ogni mese, lo shading factor per tutte le superfici che ricevono la radiazione solare diretta.

- i materiali costitutivi e la stratigrafia di muri, finestre e di tutti gli altri elementi dell'edificio;
- la presenza di schermature, interne o esterne, fisse o mobili;
- i carichi interni dovuti alla generazione di calore sensibile (trasmesso per irraggiamento o per convezione) e latente di persone, luci e attrezzature;
- i tassi di ventilazione, meccanica e naturale. I dati di ventilazione meccanica possono essere meglio definiti nel modulo Apache HVAC, mentre quelli di ventilazione naturale possono essere calcolati in maniera più precisa nel modulo MacroFlo, sempre attraverso una simulazione in regime dinamico;
- le infiltrazioni e i ricambi d'aria. Nei ricambi d'aria il software tiene conto dell'ipotesi semplificativa di perfetta miscelazione dell'aria in ambiente, quindi l'aria di ricambio è alla temperatura media dell'ambiente stesso;
- gli impianti di acqua calda sanitaria, riscaldamento, raffrescamento, umidificazione o deumidificazione dell'aria, in particolare i set point, la frazione radiante dei terminali e i profili di accensione/spegnimento, per il calcolo termico. Per il calcolo energetico vanno specificati anche il rendimento e la potenza nominale dei generatori e degli ausiliari, il tipo di combustibile e l'eventuale uso di fonti rinnovabili;
- i profili di variazione nel tempo (nell'arco della giornata, della settimana o dell'anno) delle variabili di input, ad esempio la presenza di persone nella *room*, l'accensione delle luci, i set point di riscaldamento e raffrescamento, i tassi di ventilazione e l'attivazione delle schermature;

Da questa analisi è possibile ricavare gli indici di comfort, i consumi energetici e i dati di temperatura (distinta in temperatura dell'aria, temperatura media radiante e dry resultant, media tra le due), umidità, carico sugli impianti, carico interni e i ricambi d'aria di ogni room per ogni time step di calcolo.

La determinazione delle condizioni termiche all'interno dell'edificio si ottiene attraverso un bilancio dei flussi di calore sensibile e latente, entranti ed uscenti dall'edificio attraverso le aperture e attraverso le superfici di ogni room.

Per il bilancio dei flussi di calore sensibile, vengono risolte tre equazioni.

Per la risoluzione della prima, il volume d'aria all'interno della room viene discretizzato in un numero finito di nodi e viene calcolata la soluzione per ogni singolo nodo.

Viene eguagliata a zero, per ogni nodo di ogni room, la somma dei seguenti elementi:

- accumulo del calore nelle masse d'aria e nell'arredamento;
- trasferimento di calore per convezione in corrispondenza delle superfici delle room;
- trasferimento di calore per movimentazione dell'aria;
- quota convettiva dei carichi interni;
- quota convettiva del calore prodotto dagli impianti.;

La seconda equazione viene risolta per ogni superficie interna della room ed è la somma, uguagliata a zero, di:

- calore trasmesso per conduzione attraverso gli elementi dell'edificio;
- calore trasmesso per convezione, dall'aria interna alla superficie;
- calore trasmesso per irraggiamento infrarosso;
- carico solare, assorbito dalla superficie;
- quota della porzione radiante dei carichi interni, assorbita dalla superficie;
- quota della porzione radiante del calore prodotto dagli impianti, assorbita dalla superficie;

Infine, la terza equazione viene risolta per ogni superficie della room a contatto con l'esterno ed è il bilancio dei seguenti fattori:

- conduzione di calore verso l'esterno attraverso gli elementi dell'edificio;
- trasferimento di calore per convezione, dall'aria esterna alle superfici esterne;
- trasferimento di calore per irraggiamento infrarosso dall'ambiente esterno;
- carico solare assorbito dalla superficie esterna;

Alcune equazioni sono non lineari, quindi il software utilizza un metodo iterativo per convergere ad una soluzione globale.

Per quanto riguarda il bilancio del calore latente, viene risolta, per ogni room, una sola equazione, di bilancio dei flussi di vapore acqueo, che comprende:

- il trasferimento di vapore per movimentazione dell'aria;

- la quota di calore latente generata dai carichi interni (persone, cucina...);
- umidificazione e deumidificazione dell'aria da parte degli impianti;

Le principali assunzioni su cui si basa il metodo di calcolo sono:

- temperatura e umidità dell'aria ambiente uniformi (perfetta miscelazione);
- temperatura uniforme su ciascuna superficie;
- trasmissione del calore per irraggiamento ad alta lunghezza d'onda uniforme sulle superfici;
- irraggiamento solare (a bassa lunghezza d'onda) uniforme sulle superfici;
- trasmissione del calore per conduzione monodimensionale;
- intercapedini d'aria (sia negli elementi opachi che in quelli trasparenti), modellate come pure resistenze;

### ***Scambio termico per conduzione e accumulo di calore***

L'evoluzione temporale della distribuzione della temperatura in un solido, in assenza di sorgenti di calore interne, è governata dal principio di conduzione del calore e da quello di accumulo di calore:

$$W = -\lambda * \nabla T$$

$$\nabla W = -\rho * c * \frac{\partial T}{\partial t}$$

Dove:

$T(x, y, z, t)$  è la temperatura in °C all'interno del solido, nel punto di coordinate  $(x, y, z)$  e al tempo  $t$ ;

$W(x, y, z, t)$  è il vettore flusso di calore nel punto di coordinate  $(x, y, z, t)$  e al tempo  $t$ ;

$\lambda$  è la condicibilità del solido ( $W/m^2 K$ );

$\rho$  è la densità del solido ( $kg/m^3$ );

$c$  è il calore specifico del solido.

L'equazione di diffusione del calore, nella sua forma generale in cui  $\lambda$ ,  $\rho$  e  $c$  variano al variare della posizione, risulta allora:

$$\nabla(\lambda \nabla T) = \rho * c * \frac{\partial T}{\partial t}$$

È anche necessario considerare l'accumulo di calore nella massa d'aria all'interno dell'edificio. L'equazione che regola questo processo è:

$$Q = c_p * \rho_a * V * \frac{dT}{dt}$$

Dove:

$Q$  è il flusso di calore nella massa d'aria ( $W$ );

$c_p$  è il calore specifico dell'aria a pressione costante ( $J/kgK$ );

$\rho_a$  è la densità dell'aria ( $kg/m^3$ );

$V$  è il volume d'aria ( $m^3$ );

$T_a$  è la temperatura dell'aria ( $^{\circ}C$ ).

Come già accennato, per la risoluzione delle equazioni suddette, ApacheSim adotta un approccio alle differenze finite, dividendo il volume d'aria in un numero finito di nodi, ai quali sarà calcolata la temperatura.

### ***Scambio termico per convezione***

La convezione è il trasferimento di calore che avviene in seguito al passaggio di un fluido (in questo caso, l'aria) su una superficie. Si distingue la convezione forzata, in cui il flusso d'aria convettivo è generato da forze esterne, ad esempio il vento o la ventilazione meccanica, dalla convezione naturale, in cui il flusso è generato da effetto camino. Il flusso di calore dovuto alla convezione può essere descritto dalla seguente equazione:

$$W = K(T_a - T_s)^n$$

Dove:

$W$  è il flusso di calore ( $W/m^2$ ) che passa dall'aria alla superficie;

$T_a$  è la temperatura di bulbo umido dell'aria ( $^{\circ}C$ );

$T_s$  è la temperatura media della superficie ( $^{\circ}C$ );

$K$  e  $n$  sono dei coefficienti.

Nella convezione forzata, in presenza di velocità sufficientemente alte, con buona approssimazione si può porre  $n=1$ . L'equazione diventa allora lineare.

Nella convezione naturale,  $n$  è spesso poco più grande di 1, così l'approssimazione a 1 è abbastanza accurata. L'equazione assume allora la forma:

$$W = h_c(T_a - T_s)$$

Dove:

$h_c$  è detto coefficiente di trasferimento di calore per convezione.

### ***Scambio termico per movimentazione dell'aria***

Le tipologie di movimentazione dell'aria modellate in ApacheSim sono:

- ricambi d'aria pre-impostati, classificati come infiltrazioni, ventilazione naturale o meccanica. L'aria può provenire dall'esterno, può essere l'aria esterna, ma con un offset di temperatura, oppure provenire da un'altra room;
- flussi d'aria calcolati con il modulo MacroFlo;
- flussi d'aria calcolati con il modulo ApacheHVAC.

Il calore associato ad un flusso d'aria è regolato dalla seguente espressione:

$$W = h_c(T_a - T_s)$$

Dove:

$m$  è la portata massica dell'aria ( $kg/s$ );

$cp$  è il calore specifico a pressione costante dell'aria ( $J/kgK$ );

$T_i$  è la temperatura in ingresso dell'aria ( $^{\circ}C$ );

$T_a$  è la temperatura media dell'aria all'interno della room ( $^{\circ}C$ ).

Per quanto riguarda il trasferimento di vapore per movimentazione dell'aria, l'equazione è simile:

$$w = m(g_i - g)$$

Dove:

$w$  è il vapore scambiato ( $kg/s$ );

$g_i$  è l'umidità specifica dell'aria in ingresso;

$g$  è l'umidità specifica dell'aria all'interno della room.

### ***Scambio termico per irraggiamento infrarosso***

L'emissione e l'assorbimento di radiazione termica dalle superfici dell'edificio rappresentano un importante meccanismo di trasferimento di calore.

Le superfici dell'edificio emettono radiazione termica in base alla loro temperatura assoluta. L'equazione seguente regola il flusso di radiazione per un elemento infinitesimo  $dA$  di una superficie Lambertiana, in un angolo solido infinitesimo  $d\omega$ , lungo una direzione che forma con la normale alla superficie un angolo  $\theta$ :

$$dW = \frac{1}{\pi} * \varepsilon * \sigma * \cos\theta * d\omega * dA$$

Dove:

$dW$  è il flusso radiativo ( $W/m^2$ );

$\varepsilon$  è l'emissività della superficie ( $W/m^2$ );

$\sigma$  è la costante di Stefan-Boltzmann ( $5.6697 \times 10^{-8} W/m^2K^4$ );

$\theta$  è la temperatura assoluta della superficie ( $K$ );

$\theta$  è l'angolo che la direzione del flusso forma con la normale alla superficie;

$d\omega$  è l'angolo solido infinitesimo;

$dA$  è la superficie infinitesima.

Integrando su tutto l'angolo solido, la radiazione totale emessa da una superficie piana di area  $A$  risulta:

$$W = \varepsilon * A * \sigma * \theta^4$$

Inoltre le superfici assorbono una parte delle radiazioni che intercettano. Per la legge di Kirchoff la frazione di radiazione incidente che viene assorbita da una superficie è uguale alla sua emissività.

Si tratta di un'idealizzazione dei fenomeni fisici associati all'emissione e all'assorbimento, in cui si assume l'ipotesi di caratteristiche angolari Lambertiane di emissione e non si considera la dipendenza dalla lunghezza d'onda (ipotesi di *corpo grigio*).

## 3.2 IES Navigators ASHRAE

Uno dei motivi per cui è stato scelto il software IES VE per la modellazione finalizzata all'ottenimento della certificazione LEED è il tool presente all'interno del programma che guida il progettista, passo dopo passo, nella progettazione conforme agli standard ASHRAE 90.1-2010. Questo strumento chiamato navigator è suddiviso nelle seguenti sezioni:

- Preliminary data setup;
- Envelope thermo-physical Properties;
- Space/zone thermal template data;
- Room load calculations;
- Generate Baseline;
- HVAC System selection and Sizing;
- Other Input Data;
- Simulation;
- Cost;
- Results;

Ognuna di queste sezioni è suddivisa a sua volta in un elenco puntato dove ogni punto contiene un'azione da eseguire prima di passare al punto successivo.

Per ogni azione il programma fornisce delucidazioni attraverso un testo che riassume i principali concetti teorici e normativi suggerendo inoltre i comandi del programma da utilizzare; inoltre per ogni azione è possibile segnare dei promemoria e spuntare l'azione dall'elenco quando completata.

La prima sezione del navigator è il Preliminary Data Setup, riportata nell'immagine 7, qui il navigator invita l'utente ad utilizzare il workflow concept predisposto dal programma, suggerisce di selezionare il sito e i dati climatici e consente di effettuare il download dei profili previsti da normativa ASHRAE 90.1-2010. Successivamente troviamo una parte legata alla geometria dove il programma spiega alcune strategie utili ed invita l'utente a effettuare i check normativi relativi alle strategie di modellazione dei fabbricati e dei componenti ombreggianti. Per ultimo troviamo dei suggerimenti circa le metodologie di assegnazione dei Room Group e le modalità di orientamento del modello.

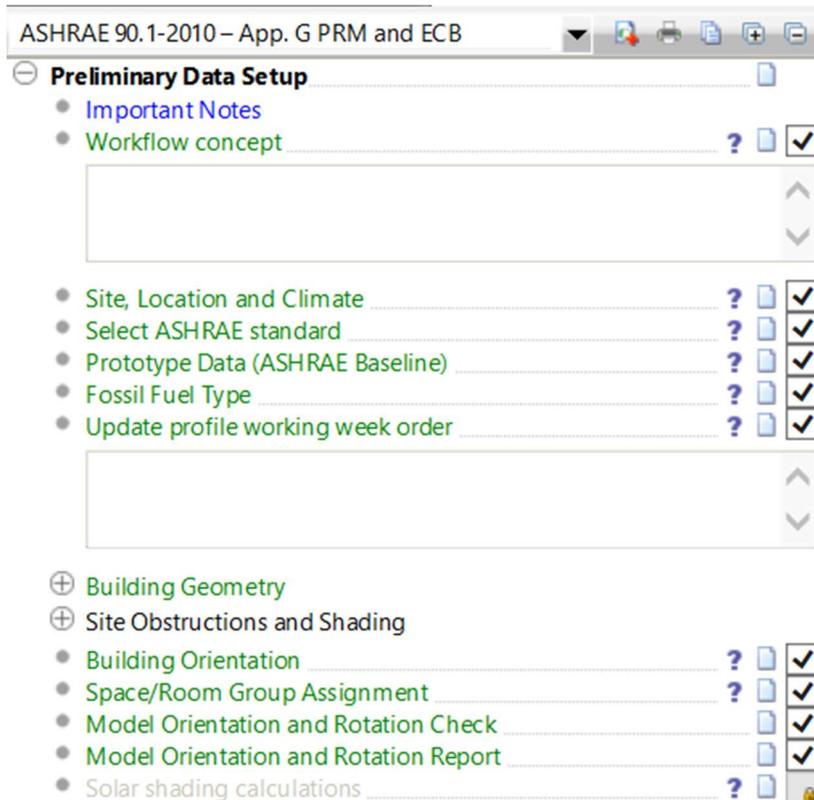


Fig7. Preliminary Data Setup, software IES.

Nella sezione Envelope thermo-physical Properties illustrata nella immagine 8, il programma attraverso un comando presente nel navigator effettua il download, nel modello locale, di un database contenente tutti gli elementi necessari per la modellazione delle stratigrafie opache e trasparenti del Baseline così come definiti all'interno della normativa ASHRAE.



Fig8. Envelope Thermo-physical Properties, software IES.

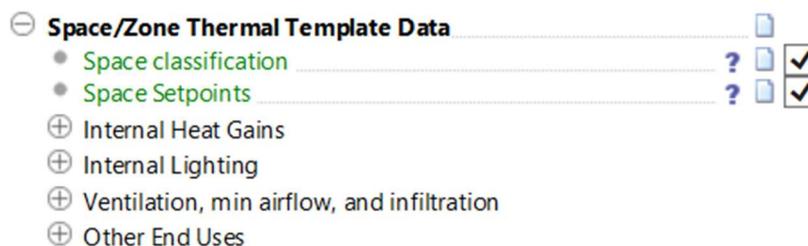


Fig9. Space/Zone Thermal Template Data, software IES.

La sezione Space/zone Thermal Template Data è una delle più importanti perché consente di effettuare il download di tutti i thermal template e le destinazioni d'uso delle rooms così come definiti dalla normativa ASHRAE.

Dopo aver inputato tutti i dati relativi alle singole rooms il programma suggerisce di effettuare il calcolo dei carichi termici delle singole rooms attraverso un'opzione presente all'interno della sezione Room load calculations.

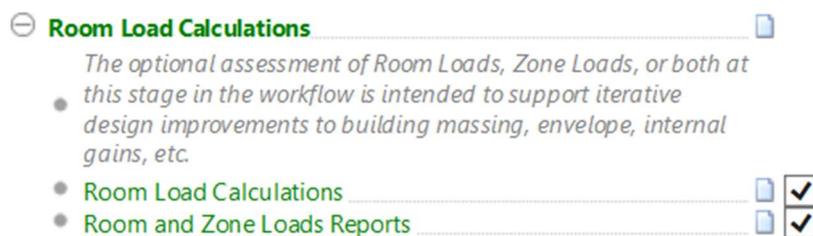


Fig10. Room Load Calculation, software IES.

La sezione Generate Baseline raffigurata di seguito, costituisce senza dubbio il core del navigators, attraverso questa sezione infatti è possibile generare il modello con le caratteristiche geometriche del baseline riportante i profili di utilizzo con i relativi carichi interni e i ricambi d'aria.

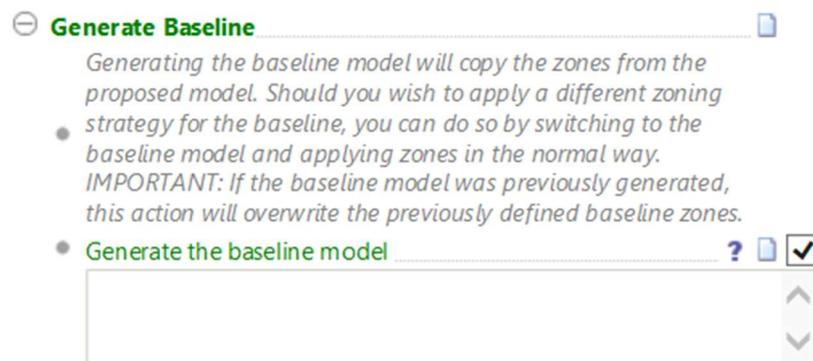


Fig11. Generate Baseline, software IES.

Nella sezione HVAC System selection and Sizing, illustrata nell'immagine 12, il programma suggerisce all'utente di settare tutti i dati necessari al successivo calcolo dei consumi e dei costi. Successivamente spiega come definire sia per il modello di Baseline che per il modello proposed tutti gli space group al fine di poter modellare correttamente gli impianti. Successivamente consente di customizzare degli impianti che il programma definisce di default per il modello Proposed e di scaricare tutti i dati necessari per la definizione degli impianti del modello di Baseline, inoltre genera in maniera automatica gli impianti per i modelli di Baseline per i modelli ruotati di 90°, 180° e 270°. Per ultimo in questa sezione il programma effettua un report; riportante i dati geometrici dell'edifici,

i dati climatici, le superfici climatizzate dai singoli impianti e i dati di dimensionamento dei carichi per ogni stanza; per il modello di Baseline a 0°,90°,180°,270° e per i Proposed.

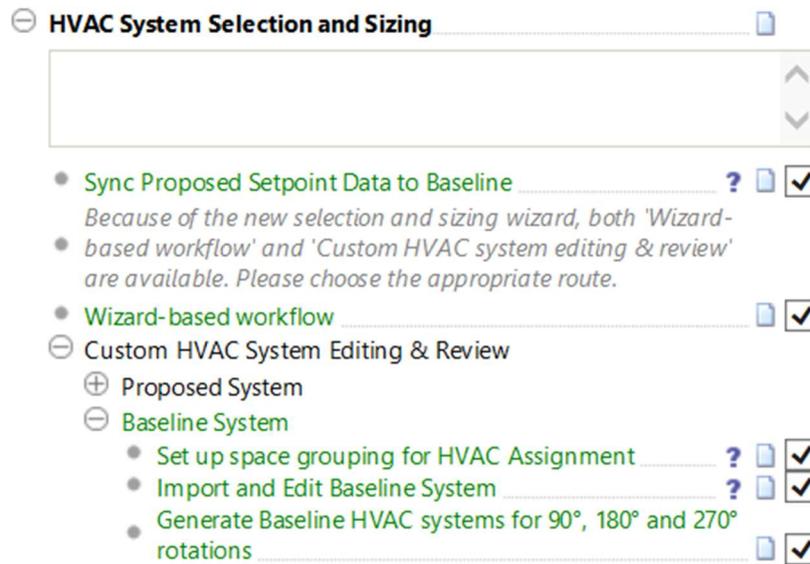


Fig12. HVAC System Selection and Sizing, software IES.



Fig13. Other Data,Simulation,Cost,Results, software IES.

La sezione Other data input consente di inserire tutti i dati relativi a sistemi di produzione dell'energia rinnovabile.

La sezione simulation consente invece di effettuare alternativamente una simulazione sul Daylight o una simulazione Energetica.

La sezione Cost consente, previa definizione del costo del vettore energetico, di valutare i costi di gestione del progetto.

La sezione Results mostra i dati di consumo e carico per tutti i servizi energivori.

## 4 CASO STUDIO

Il caso studio riguarda la ristrutturazione di un edificio con plurime destinazioni d'uso ubicato nel Nord Italia, a causa di motivi di riservatezza non è possibile nel presente elaborato rivelare né la precisa ubicazione né tanto meno mostrare le tavole di progetto, pertanto l'edificio verrà presentato mediante gli elaborati estratti dal software IES VE. Ai fini dell'ottenimento della certificazione LEED è stato utilizzato il protocollo v4 che si riferisce alla normativa ASHRAE 90.1-2010.

La ristrutturazione oggetto di analisi è classificabile dalla normativa americana, come "Core and Shell", poiché su quattro dei nove piani fuori terra il progetto prevede soltanto la riqualificazione dell'involucro esterno e la predisposizione del sistema di distribuzione dei canali di ventilazione e riscaldamento. Il progetto infatti non specifica la distribuzione e la destinazione d'uso delle aree interne, queste verranno definite in un secondo momento dagli affittuari. Pertanto per la modellazione e l'analisi di questi piani sono state eseguite le procedure appositamente previste dal protocollo. L'edificio è formato da undici piani totali, di cui nove fuori terra e due interrati. La pianta dell'edificio del piano terra e dei piani sopraelevati è divisibile in tre diverse zone funzionalmente indipendenti, ovvero un nucleo a SUD OVEST, uno a SUD EST ed uno a NORD.

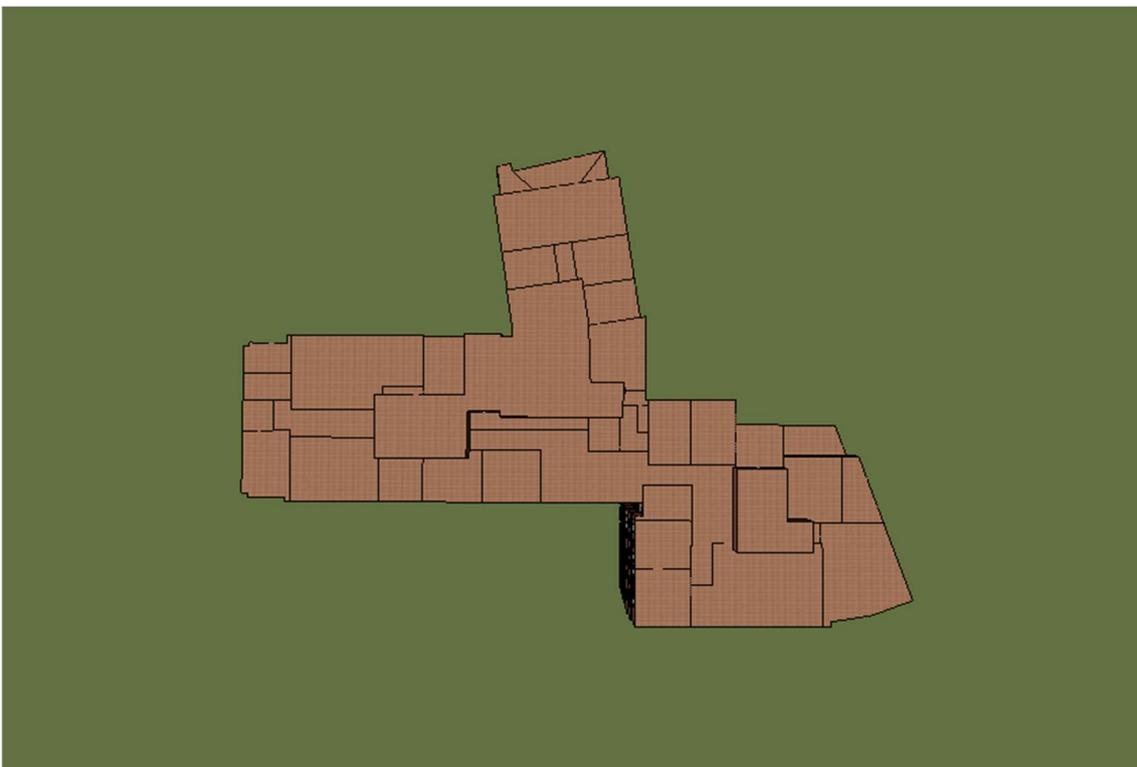


Fig14. Vista dall'alto del modello orientato a SUD OVEST.

PIANO	SUPERFICIE [m <sup>2</sup> ]	VENTILAZIONE	RISCALDAMENTO	RAFFRESCAMENTO
B2	1707	ASSENTE	ASSENTE	ASSENTE
B1	1693	PRESENTE	PRESENTE	PRESENTE
L0	724	PRESENTE	PRESENTE	PRESENTE
L1	981	PRESENTE	PRESENTE	PRESENTE
L2	982	PRESENTE	PRESENTE	PRESENTE
L3	924	PRESENTE	PRESENTE	PRESENTE
L4	924	PRESENTE	PRESENTE	PRESENTE
L5	919	PRESENTE	PRESENTE	PRESENTE
L6	919	PRESENTE	PRESENTE	PRESENTE
L7	919	PRESENTE	PRESENTE	PRESENTE
L8	719	PRESENTE	PRESENTE	PRESENTE
L9	165	ASSENTE	ASSENTE	ASSENTE

Tab9. Dati piano per piano.

All'interno dell'edificio per consentire la distribuzione verticale degli occupanti sono presenti tre corpi scala e tre ascensori, inoltre per la movimentazione di materiale sono presenti dei montacarichi. L'involucro è caratterizzato da una facciata continua che mostra un'alternanza di superficie opaca e superficie trasparente. Ad ovest ed est l'edificio è confinante con due edifici, l'edificio ad OVEST ha un muro in comune con il fabbricato oggetto di studio. Questi due edifici costituiscono gli unici oggetti ombreggianti per il fabbricato; esso infatti non avendo aggetti come balconi non ha ombre autoportate, inoltre sul versante Nord non si hanno elementi con un rapporto altezza distanza dal fabbricato tali da costituire ombreggiamento.



Fig15. Prospetto SUD OVEST.

Il secondo piano interrato ha come destinazione d'uso "deposito", tutti gli spazi del piano sono adibiti all'immagazzinamento di documenti e materiali non deperibili pertanto è caratterizzato dall'assenza di impianti di riscaldamento, raffrescamento e ventilazione.

All'interno del primo piano interrato troviamo una pluralità di destinazioni d'uso, sono presenti infatti, una palestra con annessi servizi quali spogliatoi, uffici e WC; una mensa caratterizzata da un'area di distribuzione piuttosto elevata, una zona cucina e i relativi servizi annessi per i consumatori e per i lavoratori, dunque WC e spogliatoi per il personale.

Allo stesso piano sono presenti dei depositi con destinazione archivio utilizzabili dagli uffici ai piani superiori e depositi per lo stock della merce deperibile, vi sono inoltre un consistente numero di locali tecnici.

A questo piano la climatizzazione è presente nella mensa, nella palestra, e nei magazzini con materiale deperibile.

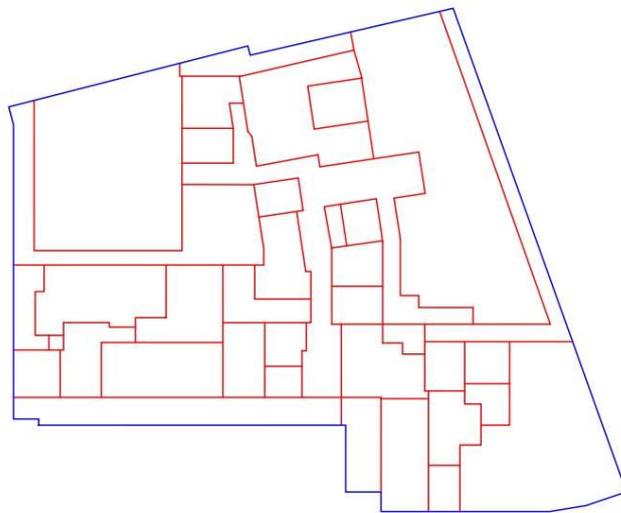


Fig16. Pianta piano primo interrato scala 1:500.

Al piano terra troviamo un'ampia hall, un ufficio per la sicurezza, un ufficio con servizio posta e una moltitudine di uffici open space, uffici singoli e sale riunioni.

Al piano sono presenti due aree distinte per i servizi igienici ed aree di servizio quali aree break, aree stampa e phone boot.

Il piano terra inoltre è servito da un parcheggio opportunamente illuminato, un'area per lo scarico delle merci e una piccola area verde antistante al prospetto principale. Al piano

è possibile accedere dal prospetto principale attraverso un ingresso con bussola oppure dal retro con due distinti ingressi di servizio.

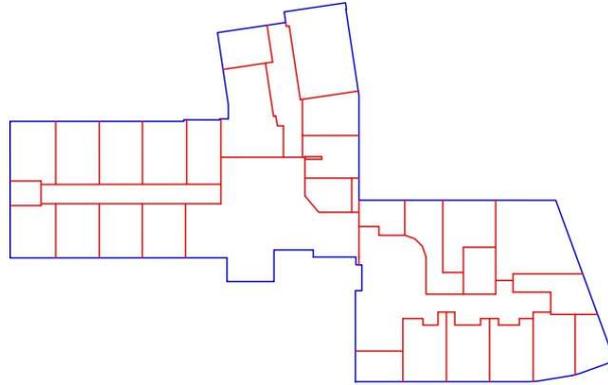


Fig17. Pianta piano terra scala 1:500.

I piani che vanno dal primo al quarto, sono i piani Core and Shell pertanto in questi piani non è possibile specificare le destinazioni d'uso che verranno definite dopo la ristrutturazione, in questo caso la norma impone l'utilizzo della destinazione d'uso ufficio per tutte le rooms, di seguito viene riportata la pianta del piano tipo Core and Shell con le suddivisioni effettuate nel rispetto della normativa ASHRAE.

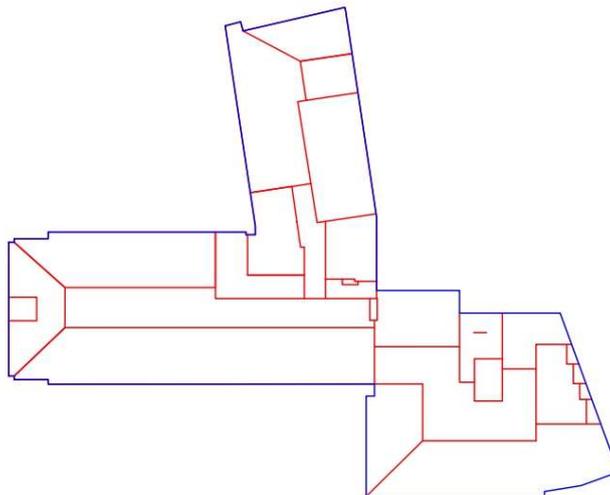


Fig18. Pianta piano tipo Core and Shell. Scala 1:500.

I piani che vanno dal quinto al settimo hanno una superficie di 920 mq e una distribuzione pressoché identica, questi piani sono integralmente destinati ad uffici, pertanto ad ogni piano sono presenti uffici singoli, uffici open space, sale meeting e sale di servizio.

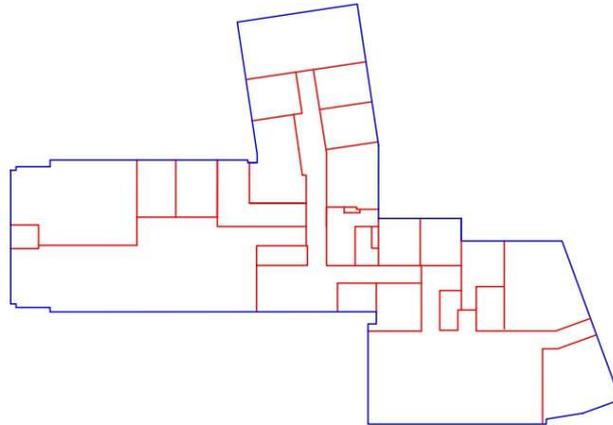


Fig19. Pianta piano quinto-sesto-settimo scala 1:500.

Il piano ottavo presenta una superficie coperta pari a 719 mq, in questo piano così come ai precedenti troviamo uffici con i servizi annessi, inoltre sono presenti due cucine per l'utilizzo esclusivo dei dipendenti.

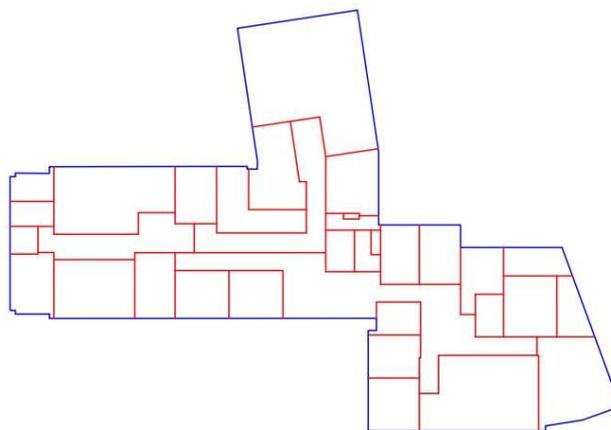


Fig20. Pianta piano ottavo scala 1:500.

Al nono piano sono presenti soltanto dei vani tecnici.

## 4.1 Modellazione geometrica, Room Group e Stratigrafie

### 4.1.1 Modellazione geometrica

#### *Proposed*

La modellazione geometrica dell'edificio di progetto è stata realizzata attraverso il modulo ModelIT del software IES utilizzando come supporto i file DXF contenenti le piante dell'edificio.

Prima di modellare la struttura su IESVE è stato effettuato un tentativo di importazione del modello Revit, tuttavia a causa di problemi di lettura del modello, si è deciso di utilizzare una strategia alternativa.

Per la modellazione su IES VE è stato utilizzato il comando “draw extruded shape” grazie al quale ricalcando la base DXF ed inserendo quota del pavimento della stanza e l'altezza della stessa genera automaticamente la room.

Per ciò che concerne la modellazione dei piani Core and Shell, ovvero i piani dal primo al quarto; è stata eseguita la modellazione conformemente a quanto previsto dalla normativa ASHRAE 90.1-2010 nella sezione 8 della Tabella G3.1.

La superficie del piano Core and Shell è stata suddivisa differenziando le rooms con confine esterno da quelle con solo confini interni; per effettuare questa suddivisione sono prima state realizzate le rooms esterne definendo degli spazi con stesso orientamento il cui punto più lontano dal muro esterno è posto a una distanza inferiore ai 15 piedi; successivamente gli spazi rimanenti sono stati classificati come room interne.

Al termine della definizione delle stanze è stato effettuato un controllo sui confini delle pareti, del pavimento e del soffitto di ogni room; in quanto gli elementi di involucro afferenti alla stessa stanza devono avere i medesimi confini.

I muri fittizi modellati per separare le rooms dei piani Core and Shell sono poi stati forati con l'apposito comando al fine di non alterare lo scambio termico interno e la superficie netta del piano.

In fase di modellazione è stato necessario definire se l'elemento modellato corrisponde ad:

- una room dell'edificio;
- una room di un edificio adiacente;
- un elemento di ombreggiatura locale;
- un elemento di ombreggiatura esterno di natura topografica;

Di seguito di riporta la schermata che si apre con il comando "draw extruded shape" che consente la creazione delle rooms:

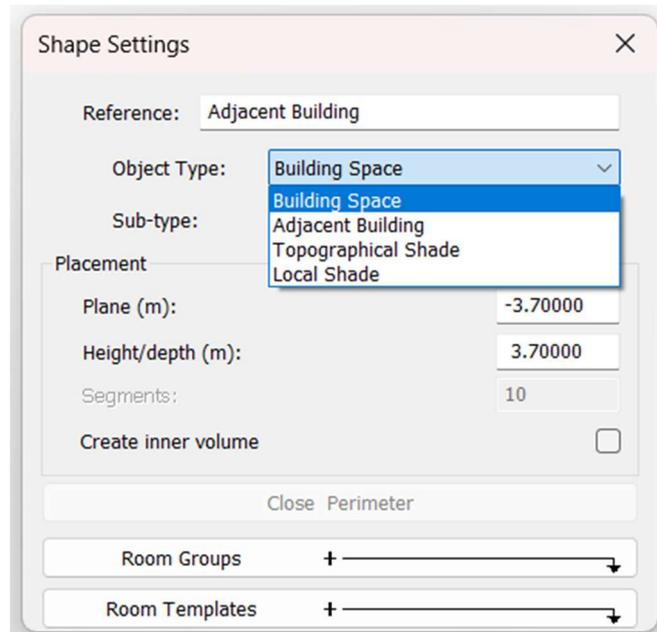


Fig21. Shape Setting, software IES.

Assegnata la tipologia Building space il software riconosce in maniera automatica i confini delle room, pertanto in fase di modellazione è sufficiente allineare correttamente le piante dei piani da modellare, ai piani modellati in precedenza per realizzare un modello geometrico preciso con i confini già definiti.

A seguito della definizione dell'involucro opaco si è proceduto con la modellazione, attraverso l'apposito comando, degli elementi trasparenti inserendo la quota del davanzale e le dimensioni della finestra. L'ultimo step di modellazione è stato la realizzazione realizzati degli edifici vicini che costituiscono ombreggiamento assegnando agli elementi Adjacent Building.

### ***Baseline***

La modellazione geometrica del Baseline è stata realizzata in maniera automatica attraverso un comando del programma presente all'interno del navigator "Generate Baseline". Prima di generare il modello in maniera automatica è necessario valutare, in virtù di quanto prescritto dalla normativa ASHRAE; la percentuale di superficie di involucro trasparente rispetto alla superficie dell'involucro opaco.

La modellazione del Baseline realizzata secondo norma prevede infatti che, nel caso in cui tale percentuale nel Proposed sia maggiore del 40% per l'involucro verticale e del 5%

per l'involucro orizzontale, allora il modello di Baseline deve essere modificato rispetto al Proposed settando tale rapporto al 40% e al 5%.

Nel caso oggetto di studio tale verifica ha condotto ai seguenti risultati per l'involucro opaco verticale.

Tot Ext. Wall Area (m <sup>2</sup> )	Tot Ext Glazing Area (m <sup>2</sup> )	% Glazing/External wall
5166.463	1952.2	37.79%

Tab10. Rapporto superficie opaca su superficie vetrata.

Avendo una percentuale minore del 40% per l'involucro opaco verticale e pari allo 0% per l'involucro opaco orizzontale si è deciso di produrre il modello geometrico del Baseline attraverso l'apposito comando.

Il programma dà la possibilità di generare i quattro modelli utili per le analisi ovvero:

- Baseline 0 DEG;
- Baseline 90 DEG;
- Baseline 180 DEG;
- Baseline 270 DEG;

Tuttavia la normativa ASHRAE alla tabella G3.1.5 (a) dell'appendice G del testo normativo specifica come nel caso di impossibilità di ruotare l'edificio per cause legate al sito, quali il confine con edifici limitrofi come nel caso studio, non è necessario effettuare valutazioni sui modelli ruotati.

Pertanto nel caso oggetto di analisi è stato realizzato soltanto il modello Baseline 0 DEG.

## 4.1.2 Room Group

Una caratteristica peculiare del software riguarda la possibilità di creare dei Room Group ovvero degli insiemi costituiti da un certo numero di layer, all'interno dei quali troveremo le rooms con caratteristiche comuni in riferimento al Room Group.

Per la realizzazione di un modello è necessario dunque creare il Room Group di piano, contenente un layer per ogni piano dell'edificio, il Room Group Destinazione d'uso contenente un differente layer per tutte la destinazione d'uso delle stanze presenti all'interno dell'edificio ed un Room Group degli impianti per separare le rooms in base al tipo di impianto di riscaldamento e ventilazione che serve la singola room.

Queste operazioni risultano fondamentali per velocizzare la ricerca di locali, per modificare contemporaneamente delle Rooms con stesse caratteristiche e per assegnare

successivamente gli impianti ad ogni room. Per la realizzazione del modello del caso studio sono stati creati i seguenti Room Group:

- Floor levels;
- Lighting Control;
- HVAC Proposed;
- HVAC Baseline;

Altri Room Group vengono generati automaticamente dal software attraverso dei comandi presenti all'interno del navigator ASHRAE 90.1-2010, per l'edificio oggetto d'analisi sono stati scaricati i seguenti Room Group:

- 90.1 Building area method;
- 90.1 Space by Space method;
- DHW Zones;
- Proposed air Handling units;
- Baseline air Handling units;

Per ciò che concerne le suddivisioni in piani dell'edificio, questa non viene effettuata in maniera automatica dal software, pertanto è stato creato il Room Group "Floor level" che contiene i seguenti layer:

- B2;
- B1;
- Ground;
- Level 01;
- Level 02;
- Level 03;
- Level 04;
- Level 05;
- Level 06;
- Level 07;
- Level 08;
- Level 09;
- Adjacent Building;

Dopo aver generato i Room Group è stato assegnato ad ogni room il suo layer di piano, così è stato possibile visualizzare e modificare contestualmente soltanto le room presenti ai piani di lavoro.

Per ciò che riguarda la destinazione d'uso delle singole stanze la normativa consente di utilizzare due differenti metodi ovvero il Building area method o lo Space by Space method, pertanto il programma scarica in maniera automatica entrambi i metodi consentendo al progettista quale scegliere tra i due.

Avendo delle destinazioni d'uso nelle quali è possibili rilevare grandi differenze in termini di carichi endogeni, di profili di utilizzo degli impianti HVAC, di profili di accensione dell'illuminazione e conseguentemente di profili di occupazione; si è deciso di utilizzare lo Space by Space method.

I layer contenuti nel Room Group Space by Space sono estrapolati dalla normativa ASHRAE 90.1-2010, tra tutti i layer scaricati per la definizione delle destinazioni d'uso del caso studio si è ritenuto necessario l'utilizzo dei seguenti layer:

- Warehouse-medium/Bulky material storage, per i locali non climatizzati;
- Void/Plenum;
- Storage, per tutti i locali climatizzati che non prevedono la presenza di persone in maniera continuata come Archivi, Depositi o sale stampa;
- Staiway, per le scale;
- Restrooms, per i bagni;
- Office-Open plan, per tutti gli Open space e per le rooms dei piani Core and Shell così come previsto dall'appendice G della normativa ASHRAE 90.1-2010;
- Office-Enclosed, per tutti gli uffici singoli;
- Lounge/recreation, per le aree break;
- Lobby, per le hall di ingresso;
- Locker room, per gli spogliatoi del personale della cucina e della palestra;
- Food preparation, per la cucina;
- Gymnasium/Fitness center, per la palestra;
- Elevators-Equipmente, per tutti gli ascensori;
- Electrical/mechanical, per le sale CED;
- Dinig area, per la sala mensa e le cucine a servizio degli uffici;
- Corridor/Transition, per i corridoi e i disimpegni;
- Conference/Meeting/Multipurpose, per tutte le sale riunioni;
- NOT SPACE, per i cavedi;

L'assegnazione dei profili a questo Room Group è particolarmente importante in quanto grazie allo Space by Space group il programma riconosce in maniera automatica il

template, contenente il profilo di utilizzo previsto dalla normativa ASHRAE, per ogni room.

Questi template così come i layer dello Space by Space Group vengono scaricati sul file grazie al navigator presente all'interno del programma.

Per ciò che afferisce la determinazione del Room Group riguardante gli impianti sono stati realizzati due Room Group diversi per il modello di Baseline e per il modello Proposed.

Il Room Group del modello Proposed è l'HVAC Proposed, all'interno del quale troviamo dei layer che rispecchiano tutte le combinazioni impiantistiche in termini di ventilazione, riscaldamento e raffrescamento presenti all'interno delle varie stanze progetto. Per determinare i layer quindi è stato necessario consultare le tavole di progetto inerenti all'impianto di riscaldamento e raffrescamento e quelle relative alla ventilazione meccanica.

A seguito dell'analisi sono stati definiti i seguenti layer:

- 00 UNCONDITIONED;
- 01 CED;
- 02 FANCOIL + VENTILAZIONE NATURAE;
- 03 RAD + VENTILAZIONE NATURALE;
- 04 UTA A + FANCOIL;
- 04a extr UTA A + RAD;
- 05 UTA B + FANCOIL;
- 05a extr UTA B + RAD;
- 06 UTA C + FANCOIL;
- 06a extr UTA C + RAD;
- 07 CS EXTR + RAD;
- 08 UTA CUCINA;

Ad ogni layer corrisponde dunque una combinazione impiantistica presente in progetto, la determinazione di questi layer risulta fondamentale per la successiva assegnazione degli impianti HVAC.

Per ciò che riguarda il modello Baseline, il Room Group associato agli impianti è il HVAC Baseline, questo è stato realizzando seguendo le tabelle G3.1.1AE G3.1.1B della normativa ASHRAE 90.1, ovvero le tabelle che consentono di definire gli impianti per l'edificio di Baseline.

Nel caso oggetto di analisi è stato utilizzato il sistema 8 per tutti gli uffici e il sistema 4 per la cucina, il CED, la palestra e la mensa. La normativa impone la definizione di un impianto per ogni piano, pertanto sono stati creati i seguenti layer:

- SYSTEM 8 B1;
- SYSTEM 8 GROUND;
- SYSTEM 8 L1;
- SYSTEM 8 L2;
- SYSTEM 8 L3;
- SYSTEM 8 L4;
- SYSTEM 8 L5;
- SYSTEM 8 L6;
- SYSTEM 8 L7;
- SYSTEM 8 L8;
- SYSTEM 4;

Il Room Group Lighting Control è stato realizzato per consentire la suddivisione dei locali che posseggono un controllo sull'illuminazione interna e per i locali che non lo posseggono, per tanto sono stati creati soltanto due layer:

- CONTROLLED;
- NOT CONTROLLED;

### **4.1.3 Stratigrafie**

La realizzazione e l'assegnazione delle stratigrafie dell'involucro opaco e trasparente viene effettuata con il modulo del programma Apache. Per ciò che concerne il modello di Baseline le stratigrafie vengono assegnate direttamente dal programma durante la fase di generazione del modello.

#### ***Proposed***

Al fine di modellare e assegnare correttamente le stratigrafie del modello Proposed è stata condotta un'analisi sugli elaborati progettuali desumendo così l'ubicazione e i materiali presenti in ogni stratigrafia.

L'involucro opaco verticale è stato modellato all'interno del modulo apache distinguendo i muri che costituiscono delle divisioni interne dai i muri che confinano con l'esterno o con il terreno.

I muri esterni sono modellati come "external wall" mentre i muri interni sono modellati come internal partition.

Di seguito si riportano le stratigrafie relative all'involucro opaco verticale piano per piano, indicando per ogni stratigrafia i vari strati che la compongono con le rispettive caratteristiche termiche nonché la trasmittanza, lo spessore e la massa superficiale dell'intero pacchetto.

La stratigrafia del muro esterno per i piani interrati è l'EXTERNAL WALL 1, eccezion fatta per le chiusure verticali della palestra che hanno come stratigrafia l'EXTERNAL WALL 2 e della mensa che è separata da un'intercapedine d'aria dal muro con stratigrafia EXTERNAL WALL 3.

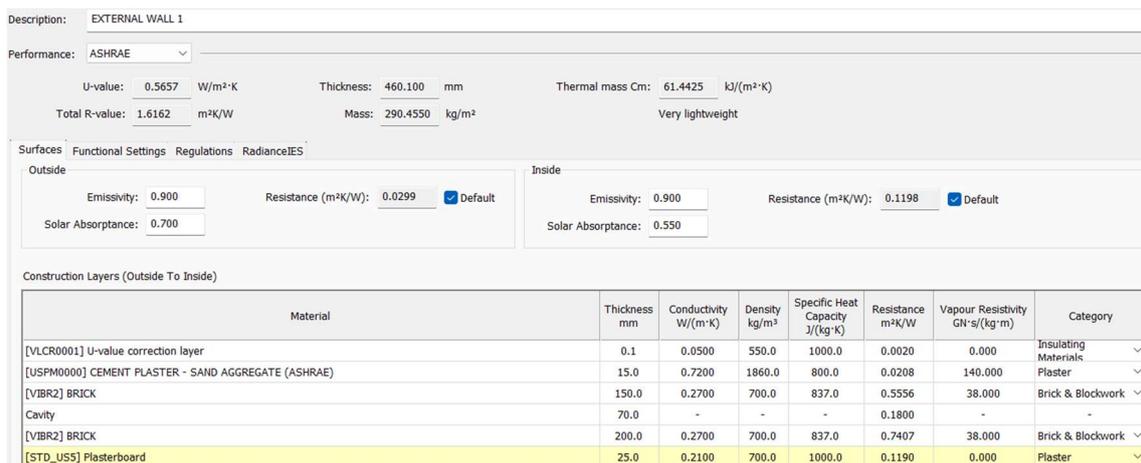


Fig22. External Wall1.

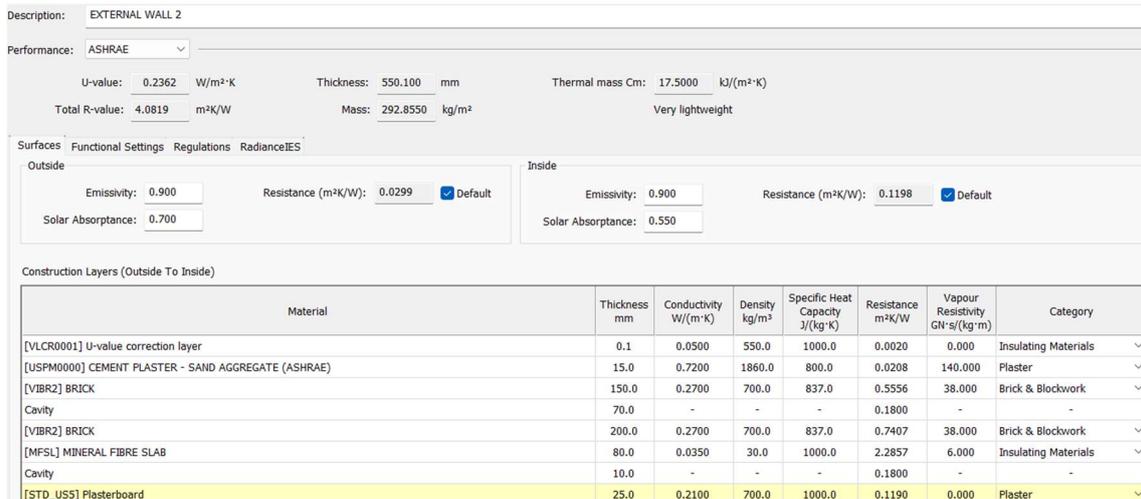


Fig23. External Wall2.

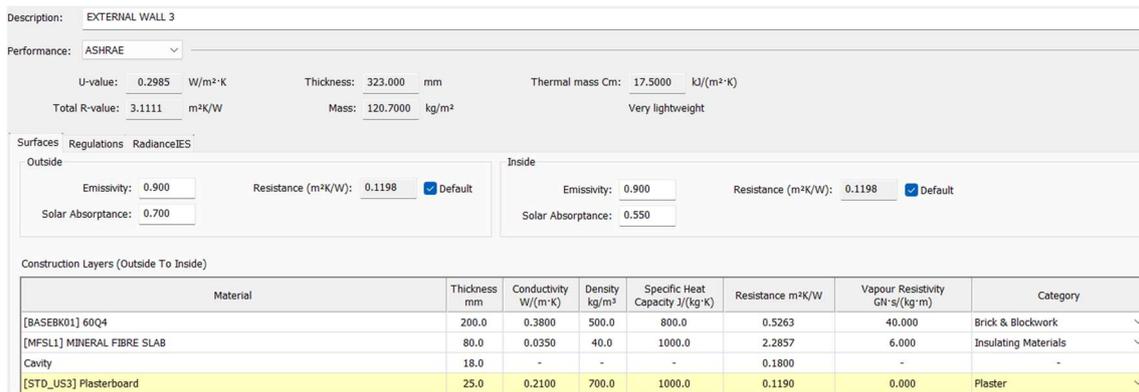


Fig24. External Wall3.

Per ciò che concerne le partizioni interne queste sono prevalentemente di due tipi, INTERNAL WALL 1 per i vani scala e vani tecnici confinanti verso volumi climatizzati e INTERNAL WALL 2 per tutte le altre pareti.

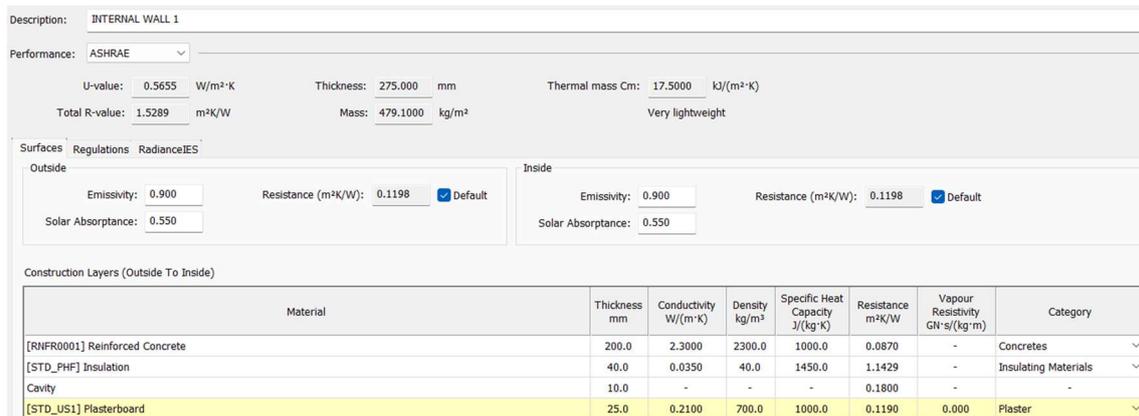


Fig25. Internal Wall1.

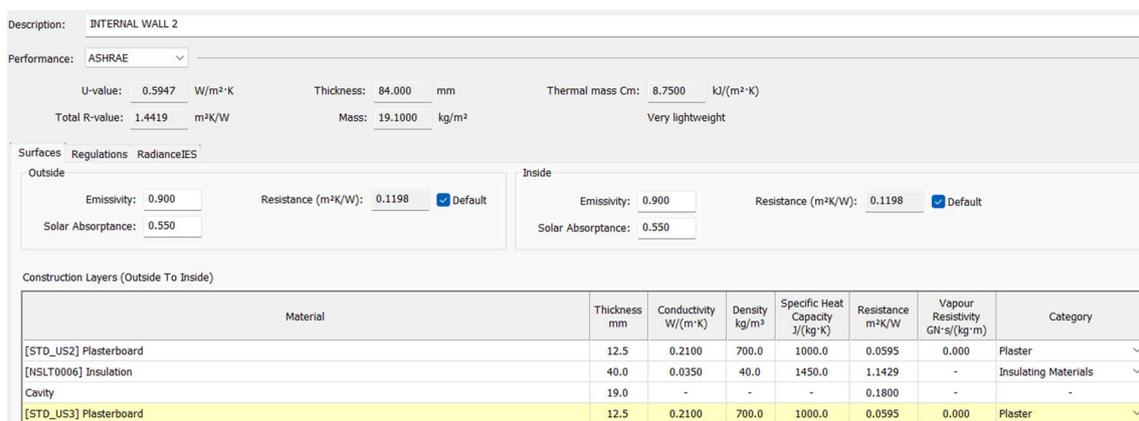


Fig26. Internal Wall2.

L'involucro opaco verticale dei piani fuori terra è costituito prevalentemente dal pacchetto stratigrafico della facciata continua ovvero l'EXTERNAL WALL 4 mentre la restante parte dell'involucro è realizzato come da stratigrafia EXTERNAL WALL 5.

Description: EXTERNAL WALL 4

Performance: ASHRAE

U-value: 0.2395 W/m<sup>2</sup>·K      Thickness: 152.000 mm      Thermal mass Cm: 0.0000 kJ/(m<sup>2</sup>·K)

Total R-value: 4.0261 m<sup>2</sup>·K/W      Mass: 20.0000 kg/m<sup>2</sup>      Very lightweight

Surfaces: Functional Settings Regulations RadianceIES

Outside: Emissivity: 0.900      Resistance (m<sup>2</sup>·K/W): 0.0299  Default      Solar Absorptance: 0.700

Inside: Emissivity: 0.900      Resistance (m<sup>2</sup>·K/W): 0.1198  Default      Solar Absorptance: 0.550

Construction Layers (Outside To Inside)

Material	Thickness mm	Conductivity W/(m·K)	Density kg/m <sup>3</sup>	Specific Heat Capacity J/(kg·K)	Resistance m <sup>2</sup> ·K/W	Vapour Resistivity GN·s/(kg·m)	Category
[CCL] Fibrocemento	12.0	0.4600	1200.0	1000.0	0.0261	80.000	Concretes
[STD_PHF] Insulation	140.0	0.0350	40.0	1450.0	4.0000	-	Insulating Materials

Fig27. External Wall4.

Description: EXTERNAL WALL 5

Performance: ASHRAE

U-value: 0.3110 W/m<sup>2</sup>·K      Thickness: 410.000 mm      Thermal mass Cm: 17.5000 kJ/(m<sup>2</sup>·K)

Total R-value: 3.0660 m<sup>2</sup>·K/W      Mass: 208.2000 kg/m<sup>2</sup>      Very lightweight

Surfaces: Functional Settings Regulations RadianceIES

Outside: Emissivity: 0.900      Resistance (m<sup>2</sup>·K/W): 0.0299  Default      Solar Absorptance: 0.700

Inside: Emissivity: 0.900      Resistance (m<sup>2</sup>·K/W): 0.1198  Default      Solar Absorptance: 0.550

Construction Layers (Outside To Inside)

Material	Thickness mm	Conductivity W/(m·K)	Density kg/m <sup>3</sup>	Specific Heat Capacity J/(kg·K)	Resistance m <sup>2</sup> ·K/W	Vapour Resistivity GN·s/(kg·m)	Category
[USPM0000] CEMENT PLASTER - SAND AGGREGATE (ASHRAE)	15.0	0.7200	1860.0	800.0	0.0208	140.000	Plaster
[VIBR2] BRICK	80.0	0.2700	700.0	837.0	0.2963	38.000	Brick & Blockwork
Cavity	70.0	-	-	-	0.1800	-	-
[VIBR2] BRICK	150.0	0.2700	700.0	837.0	0.5556	38.000	Brick & Blockwork
[MFSL] MINERAL FIBRE SLAB	60.0	0.0350	30.0	1000.0	1.7143	6.000	Insulating Materials
Cavity	10.0	-	-	-	0.1800	-	-
[STD_US5] Plasterboard	25.0	0.2100	700.0	1000.0	0.1190	0.000	Plaster

Fig28. External Wall5.

L'elemento di separazione interna per tutti i piani fuori terra è l'INTERNAL WALL 3 .

Description: INTERNAL WALL 3

Performance: ASHRAE

U-value: 0.5947 W/m<sup>2</sup>·K      Thickness: 84.000 mm      Thermal mass Cm: 8.7500 kJ/(m<sup>2</sup>·K)

Total R-value: 1.4419 m<sup>2</sup>·K/W      Mass: 19.1000 kg/m<sup>2</sup>      Very lightweight

Surfaces: Regulations RadianceIES

Outside: Emissivity: 0.900      Resistance (m<sup>2</sup>·K/W): 0.1198  Default      Solar Absorptance: 0.550

Inside: Emissivity: 0.900      Resistance (m<sup>2</sup>·K/W): 0.1198  Default      Solar Absorptance: 0.550

Construction Layers (Outside To Inside)

Material	Thickness mm	Conductivity W/(m·K)	Density kg/m <sup>3</sup>	Specific Heat Capacity J/(kg·K)	Resistance m <sup>2</sup> ·K/W	Vapour Resistivity GN·s/(kg·m)	Category
[STD_US2] Plasterboard	12.5	0.2100	700.0	1000.0	0.0595	0.000	Plaster
[NSLT0006] Insulation	40.0	0.0350	40.0	1450.0	1.1429	-	Insulating Materials
Cavity	19.0	-	-	-	0.1800	-	-
[STD_US3] Plasterboard	12.5	0.2100	700.0	1000.0	0.0595	0.000	Plaster

Fig29. Internal Wall3.

L'elemento di separazione interna per tutti i piani fuori terra è l'INTERNAL WALL 3. L'involucro opaco orizzontale può costituire un elemento di separazione tra un ambiente climatizzato e l'esterno, tra un ambiente climatizzato ed il terreno, tra un ambiente climatizzato ed un ambiente non climatizzato e tra due ambienti climatizzati.

Nel caso oggetto di analisi è stata modellata la stratigrafia FLOOR che rappresenta sia il solaio interpiano tra tutti gli ambienti climatizzati, che il solaio di separazione tra il piano B2 e il piano B1. Per ciò che riguarda gli elementi di separazione verso l'esterno, sono stati modellati il solaio con stratigrafia ROOF1, che separa il tetto del piano B1 dall'esterno, ed il solaio con stratigrafia ROOF 2 che rappresenta la stratigrafia del tetto del piano L8, L9 e di tutti i terrazzi presenti.

Description: FLOOR

Performance: ASHRAE

U-value: 1.2699 W/m<sup>2</sup>·K      Thickness: 320.000 mm      Thermal mass Cm: 76.6080 kJ/(m<sup>2</sup>·K)

Total R-value: 0.5726 m<sup>2</sup>·K/W      Mass: 284.4900 kg/m<sup>2</sup>      Very lightweight

Surfaces Regulations RadianceIES

Outside      Emissivity: 0.900      Resistance (m<sup>2</sup>·K/W): 0.1074  Default      Solar Absorptance: 0.550

Inside      Emissivity: 0.900      Resistance (m<sup>2</sup>·K/W): 0.1074  Default      Solar Absorptance: 0.550

Construction Layers (Outside To Inside)

Material	Thickness mm	Conductivity W/(m·K)	Density kg/m <sup>3</sup>	Specific Heat Capacity J/(kg·K)	Resistance m <sup>2</sup> ·K/W	Vapour Resistivity GN·s/(kg·m)	Category
[ACBL1] Pavimentazione in gomma	5.0	0.2300	900.0	1350.0	0.0217	50.000	Concretes
[ACBL] Sottofondo cementizio	45.0	0.2400	750.0	1000.0	0.1875	50.000	Concretes
[CNCR0003] Solaio in Laterocemento	270.0	0.7430	912.0	840.0	0.3634	19.000	Concretes

Fig30. Floor.

Description: ROOF 1

Performance: ASHRAE

U-value: 0.2508 W/m<sup>2</sup>·K      Thickness: 400.000 mm      Thermal mass Cm: 76.6080 kJ/(m<sup>2</sup>·K)

Total R-value: 3.7726 m<sup>2</sup>·K/W      Mass: 286.8900 kg/m<sup>2</sup>      Very lightweight

Surfaces Regulations RadianceIES

Outside      Emissivity: 0.900      Resistance (m<sup>2</sup>·K/W): 0.1074  Default      Solar Absorptance: 0.550

Inside      Emissivity: 0.900      Resistance (m<sup>2</sup>·K/W): 0.1074  Default      Solar Absorptance: 0.550

Construction Layers (Outside To Inside)

Material	Thickness mm	Conductivity W/(m·K)	Density kg/m <sup>3</sup>	Specific Heat Capacity J/(kg·K)	Resistance m <sup>2</sup> ·K/W	Vapour Resistivity GN·s/(kg·m)	Category
[ACBL11] Pavimentazione riflettente	5.0	0.2300	900.0	1350.0	0.0217	50.000	Concretes
[BASEPB02] POLYURETHANE BOARD	80.0	0.0250	30.0	1400.0	3.2000	550.000	Insulating Materials
[ACBL] Sottofondo cementizio	45.0	0.2400	750.0	1000.0	0.1875	50.000	Concretes
[CNCR0003] Solaio in Laterocemento	270.0	0.7430	912.0	840.0	0.3634	19.000	Concretes

Fig31. Roof1.

Description: ROOF 2

Performance: ASHRAE

U-value: 1.5634 W/m<sup>2</sup>·K      Thickness: 320.000 mm      Thermal mass Cm: 76.6080 kJ/(m<sup>2</sup>·K)

Total R-value: 0.3634 m<sup>2</sup>·K/W      Mass: 338.2400 kg/m<sup>2</sup>      Very lightweight

Surfaces Regulations RadianceIES

Outside      Emissivity: 0.900      Resistance (m<sup>2</sup>·K/W): 0.0299  Default      Solar Absorptance: 0.550

Inside      Emissivity: 0.900      Resistance (m<sup>2</sup>·K/W): 0.1074  Default      Solar Absorptance: 0.550

Construction Layers (Outside To Inside)

Material	Thickness mm	Conductivity W/(m·K)	Density kg/m <sup>3</sup>	Specific Heat Capacity J/(kg·K)	Resistance m <sup>2</sup> ·K/W	Vapour Resistivity GN·s/(kg·m)	Category
[GRVL] GRAVEL	50.0	0.3600	1840.0	840.0	0.1389	250.000	Sands, Stones and Soils
[CNCR0003] Solaio in Laterocemento	270.0	0.7430	912.0	840.0	0.3634	19.000	Concretes

Fig32. Roof2.

L'involucro trasparente dell'edificio oggetto di analisi è costituito dalla parte di involucro trasparente della facciata continua presente nei piani fuori terra.

Tale involucro è caratterizzato da un telaio in alluminio a taglio termico e da un vetro a doppia camera le cui caratteristiche sono specificate di seguito.

La stratigrafia del vetro è composta da:

- Lastra esterna: Stratobel 66.2 ( 6mm Planibel Clearlite + Intercalare 0.76mm PVB Clear + 6mm Energy 72/38 );
- Intercapedine: 18mm Argon 90%;
- Lastra Intermedia: 5mm Planibel Clearlite indurito;
- Intercapedine: 16mm Argon 90%;
- Lastra interna: Stratobel 55.2 ( 5mm iPlus 1.1 pos.5 + Intercalare 0.76mm PVB Clear + 5mm Planibel Clearlite);

Le caratteristiche termiche del vetro sono:

- Trasmittanza solo vetro: 0.5 U/g W/mqK;
- Caratteristiche acustiche:  $R_w$  44 dB;
- Trasmissione luminosa: 62%;
- Riflessione luminosa esterna : 15%;
- Riflessione luminosa interna: 17%;
- G Value: 32%;
- Coefficiente di Shading SC: 0,37;
- Selettività: 1,94;

Le caratteristiche dell'intero pacchetto sono invece:

- Indice dell'isolamento acustico standardizzato di facciata ( in Opera secondo UNI 8270 )  $D_{2m,nT,w}$  : 42 dB;
- Trasmittanza termica complessiva del modulo cellula  $U_{cw}$ : 1,2 W/mqK;
- Permeabilità all'aria (classificazione secondo UNI EN 12152) Classe A4;
- Tenuta all'acqua (classificazione secondo UNI EN 12154) Classe RE 1200;

Il vetro è pertanto stato modellato attraverso l'ausilio dell'apposito tool sul modulo Apache come da stratigrafia EXTERNAL GLAZING.

Description: EXTERNAL GLAZING

Performance: ASHRAE

Net U-value (including frame): 1.2013 W/m²·K      U-value (glass only): 0.5150 W/m²·K      Total shading coefficient: 0.4042      SHGC (center-pane): 0.3516

Net R-value: 1.9417 m²·K/W      g-value (EN 410): 0.3539      Visible light normal transmittance: 0.62

Surfaces: Frame Shading Device RadianceIES

Outside: Emissivity: 0.837      Resistance (m²·K/W): 0.0299  Default

Inside: Emissivity: 0.837      Resistance (m²·K/W): 0.1198  Default

Construction Layers (Outside to Inside):

Material	Thickness mm	Conductivity W/(m·K)	Angular Dependence	Gas	Convection Coefficient W/m²·K	Resistance m²·K/W	Transmittance	Outside Reflectance	Inside Reflectance	Refractive Index	Outside Emissivity	Inside Emissivity	Visible Light Specified
[STD_EXW] Outer Pane	6.0	1.0000	Fresnel	-	-	0.0060	0.365	0.289	0.414	1.526	0.837	0.042	No
Cavity	12.0	-	-	-	-	1.7800	-	-	-	-	-	-	-
[STD_INW] Inner Pane	6.0	1.0000	Fresnel	-	-	0.0060	0.783	0.072	0.072	1.526	0.837	0.837	No

Fig33. External Glazing.

## Baseline

Le stratigrafie del Baseline vengono scaricate ed assegnate in maniera automatica durante la generazione del Baseline; di seguito si riportano le stratigrafie generate dal programma:

- Involucro opaco verticale esterno; CZ4 Ext Wall (Non-Res) - Steel Framed; R-13.0 + 7.5 c.i; U=0.064 (0.363);
- Involucro opaco orizzontale di copertura; CZ4 Roof (Non-Res) - Ins Above Deck; R-20; U=0.048 (0.273);
- Involucro opaco orizzontale di pavimento; Ground contact floor:  $U=F(1.26344)*\text{Floor perim.}(68\text{m})/\text{Floor area}(168\text{m}^2)$ ;
- Involucro trasparente; CZ4 Window (Non-Res)-Nonmetal framing(all); U=0.40; SHGC=0.40;

Description: CZ4 Ext Wall (Non-Res) - Steel Framed; R-13.0 + 7.5 c.i; U=0.064 (0.363)

Performance: ASHRAE

U-value: 0.3632 W/m²·K      Thickness: 247.650 mm      Thermal mass Cm: 13.3239 kJ/(m²·K)

Total R-value: 2.6034 m²·K/W      Mass: 82.4382 kg/m²      Very lightweight

Surfaces: Functional Settings Regulations RadianceIES

Outside: Emissivity: 0.900      Resistance (m²·K/W): 0.0299  Default      Solar Absorptance: 0.700

Inside: Emissivity: 0.900      Resistance (m²·K/W): 0.1198  Default      Solar Absorptance: 0.550

Construction Layers (Outside To Inside)

Material	Thickness mm	Conductivity W/(m·K)	Density kg/m³	Specific Heat Capacity J/(kg·K)	Resistance m²·K/W	Vapour Resistivity GN·s/(kg·m)	Category	A90.1 Status
[JSSU0001] STUCCO - HF-A1 (ASHRAE)	19.1	1.3521	2659.0	837.0	0.0141	0.000	Screeds & Renders	R
[USGP0001] GYPSUM/ PLASTER BOARD - HF-E1 (ASHRAE)	15.9	0.1610	801.0	837.0	0.0986	0.000	Plaster	R
[CVTY0130] CAVITY INSULATION (ASHRAE) R-13.0(2.3)	152.4	0.0937	30.0	999.8	1.6256	0.000	Insulating Materials	R
[CNTN0023] CONTINUOUS INSULATION R-7.5 (1.3)	44.5	0.0580	40.0	837.4	0.7664	0.000	Insulating Materials	R
[USGP0001] GYPSUM/ PLASTER BOARD - HF-E1 (ASHRAE)	15.9	0.1610	801.0	837.0	0.0986	0.000	Plaster	R

Fig34. CZ4 External Wall.

Description: CZ4 Roof (Non-Res) - Ins Above Deck; R-20; U=0.048 (0.273)

Performance: ASHRAE

U-value: 0.2735 W/m<sup>2</sup>·K      Thickness: 114.010 mm      Thermal mass Cm: 35.0900 kJ/(m<sup>2</sup>·K)  
 Total R-value: 3.5189 m<sup>2</sup>·K/W      Mass: 52.4661 kg/m<sup>2</sup>      Very lightweight

Surfaces: Regulations RadianceIES

Outside: Emissivity: 0.900      Resistance (m<sup>2</sup>·K/W): 0.0299  Default  
 Solar Absorptance: 0.700

Inside: Emissivity: 0.900      Resistance (m<sup>2</sup>·K/W): 0.1074  Default  
 Solar Absorptance: 0.550

Construction Layers (Outside To Inside)

Material	Thickness mm	Conductivity W/(m·K)	Density kg/m <sup>3</sup>	Specific Heat Capacity J/(kg·K)	Resistance m <sup>2</sup> ·K/W	Vapour Resistivity GN·s/(kg·m)	Category	A90.1 Status
[RFNS0030] ROOF INSULATION (ASHRAE) R-20 (3.5)	101.5	0.0288	24.0	837.4	3.5187	0.000	Insulating Materials	R
[MD] Metal Deck (ASHRAE)	9.5	160.0000	2800.0	896.0	0.0001	0.000	Metals	R
[SM112144] STEEL BEAMS & BATTENS	3.0	50.0000	7800.0	480.0	0.0001	-	Metals	R

Fig35. CZ4 Roof.

Description: Ground contact floor: U=F(1.26344)\*Floor perim.(68m)/Floor area(168m<sup>2</sup>)

Performance: ASHRAE

U-value: 0.5114 W/m<sup>2</sup>·K      Thickness: 1237.447 mm      Thermal mass Cm: 98.9760 kJ/(m<sup>2</sup>·K)  
 Total R-value: 0.3653 m<sup>2</sup>·K/W      Mass: 2229.4258 kg/m<sup>2</sup>      Lightweight

Surfaces: Functional Settings Regulations RadianceIES

Outside: Emissivity: 0.900      Resistance (m<sup>2</sup>·K/W): 0.0299  Default  
 Solar Absorptance: 0.550

Inside: Emissivity: 0.900      Resistance (m<sup>2</sup>·K/W): 0.1620  Default  
 Solar Absorptance: 0.550

Construction Layers (Outside To Inside)

Material	Thickness mm	Conductivity W/(m·K)	Density kg/m <sup>3</sup>	Specific Heat Capacity J/(kg·K)	Resistance m <sup>2</sup> ·K/W	Vapour Resistivity GN·s/(kg·m)	Category	A90.1 Status
[VLCR0000] U-value correction layer	34.4	0.0500	550.0	1000.0	0.6889	0.000	Insulating Materials	X
[LNDN0000] London Clay	1000.0	1.4100	1900.0	1000.0	0.7092	0.000	Sands, Stones and Soils	X
[CCM00000] CAST CONCRETE (MEDIUM WEIGHT BS EN 1745)	100.0	1.4000	1900.0	1000.0	0.0714	-	Concretes	R
[SC] SCREED	100.0	0.4100	1200.0	840.0	0.2439	-	Screeds & Renders	R
[SCP2] SYNTHETIC CARPET	3.0	0.0600	160.0	2500.0	0.0500	-	Carpets	R

Fig36. CZ4 Ground floor.

Description: CZ4 Window (Non-Res)-Nonmetal framing(all); U=0.40; SHGC=0.40

Performance: ASHRAE

Net U-value (including frame): 2.2718 W/m<sup>2</sup>·K      U-value (glass only): 1.7653 W/m<sup>2</sup>·K      Total shading coefficient: 0.4608      SHGC (center-pane): 0.4009  
 Net R-value: 0.5665 m<sup>2</sup>·K/W      g-value (EN 410): 0.4121      Visible light normal transmittance: 0.76

Surfaces: Frame Shading Device RadianceIES

Outside: Emissivity: 0.840      Resistance (m<sup>2</sup>·K/W): 0.0299  Default

Inside: Emissivity: 0.840      Resistance (m<sup>2</sup>·K/W): 0.1198  Default

Construction Layers (Outside to Inside):

Material	Thickness mm	Conductivity W/(m·K)	Angular Dependence	Gas	Convection Coefficient W/m <sup>2</sup> ·K	Resistance m <sup>2</sup> ·K/W	Transmittance	Outside Reflectance	Inside Reflectance	Refractive Index	Outside Emissivity	Inside Emissivity	Visible Light Specified
[CF636111] FLOAT 6MM Low-e:0.1	6.3	1.0600	Fresnel	-	-	0.0059	0.410	0.070	0.070	1.526	0.840	0.100	No
Cavity	13.0	-	-	Air	1.9654	0.4049	-	-	-	-	-	-	-
[CF655] CLEAR FLOAT 6MM	6.3	1.0600	Fresnel	-	-	0.0059	0.780	0.070	0.070	1.526	0.840	0.840	No

Fig37. CZ4 Window.

## **4.2 Internal gains e Template**

L'opportuna valutazione degli internal gains, ovvero dei carichi interni dell'edificio, legata alla corretta definizione dei profili di utilizzo, che definiscono le modalità d'uso dell'ambiente costruito, costituisce un elemento fondamentale per la corretta analisi dei carichi complessivi e per la valutazione reale dei consumi futuri dell'edificio; tanto più questi fattori vengono modellati in maniera coerente con il futuro utilizzo del fabbricato tanto più precisa sarà la stima dei consumi e delle emissioni reali dello stesso. Per tale ragione la normativa ASHRAE ed il protocollo LEED impongono una rigida valutazione di questi elementi. Queste valutazioni assumono maggior valore all'interno del protocollo LEED grazie all'utilizzo obbligatorio del calcolo orario.

### **4.2.1 Internal gains**

Gli internal Gains o carichi interni costituiscono una parte significativa del carico termico estivo, pertanto una non corretta valutazione potrebbe portare ad un errato dimensionamento degli impianti di raffrescamento, al quale conseguirebbe oltre che ad un falso valore di consumo, anche una condizione di discomfort interno nel caso in cui questi carichi siano sotto valutati.

I principali agenti di produzione di calore all'interno dell'edificio sono:

- il sistema di illuminazione;
- le persone;
- le apparecchiature elettriche;

Il sistema di illuminazione artificiale costituisce un importante fattore di carico per l'edificio, la radiazione emessa dai corpi illuminanti che finisce sugli elementi di involucro e di arredo causa un innalzamento della temperatura degli stessi, quando la temperatura di questi elementi supera quella ambiente essi cederanno calore innalzando la temperatura dell'ambiente interno. Il consumo di energia derivante dall'illuminazione costituisce, secondo un rapporto ENEA, circa il 17% del consumo totale per gli uffici con destinazione d'uso ufficio.

Dunque è possibile asserire che l'illuminazione costituisce un doppio fattore di consumo, in quanto oltre ad assorbire un quantitativo significativo di energia elettrica per illuminare, contribuisce in maniera sostanziale ad aumentare la temperatura interna a causa delle radiazioni trasmesse.

In maniera del tutto analoga si comportano tutte le altre apparecchiature elettriche presenti all'interno dell'ambiente costruito; i cui consumi, secondo ENEA, possono arrivare a costituire il 25% dei consumi totali in edifici con destinazione d'uso ufficio.

### ***Proposed***

Gli internal gains calcolati e inseriti nel modello Proposed sono costituiti dai carichi derivanti da:

- Illuminazione;
- Persone;
- Apparecchiature elettriche;

Per ciò che concerne i carichi riferiti all'illuminazione, attraverso l'analisi delle tavole di progetto sono state rilevati e catalogati tutti gli apparecchi illuminanti presenti all'interno delle singole stanze. Attraverso l'ausilio delle schede tecniche dei dispositivi è stato assegnato ad ogni apparecchio il suo consumo effettivo.

Sommando i consumi di tutti gli apparecchi presenti nella singola stanza è stato possibile desumere il consumo totale per la stessa. È stata inoltre segnata, per ogni stanza, la tipologia di controllo dell'illuminazione presente. Di seguito si riporta a titolo di esempio il calcolo effettuato per la room L0\_11\_MeetingRoom.

L0_11_MeetingRoom			
	Assorbimento della singola lampada [W]	N°	Assorbimento totale per lampada [W]
Corpo illuminante a incasso a microcelle P=11W 779lm 3000K IP20	11	6	66
Corpo rettangolare per sale riunioni P=89W 7396lm 3000K IP20 1600x800mm	75	2	150
Corpo rettangolare per sale riunioni P=46W 3761lm 3000K IP20 800x800mm	39	2	78
Totale	[-]	10	294

Tab11. calcolo del carico di illuminazione per la room L0\_11\_MeetingRoom.

Dopo aver effettuato il calcolo per ogni stanza è stato assegnato ad ognuna, il valore di assorbimento totale in W sul software. Il programma successivamente calcola automaticamente il valore di carico al mq per ogni stanza e i consumi associati. Di seguito si riportano, a titolo di esempio, i risultati ottenuti per il piano terra.

Space Name (Real)	Gain 1 Input Mode (Real)	Gain 1 Max. Sensible Gain (W/m <sup>2</sup> ) (Real)	Gain 1 Max. Sensible Gain (W) (Real)
L0 04 AreaCopy	W	3.092	28
L0 06 Bagno	W	4.268	65
L0 08-02 Area break attesa	W	4.792	344
L0_08-04-03-02-01 ConferenceRiconfig	W	8.533	610
L0 11 MeetingRoom	W	8.031	294
L0 16 BackOFFAreaCopy	W	4.906	88
L0 17 Bagni	W	4.668	70
L0 18 Bagni	W	2.874	26
L0 25 Corridoio	W	3.367	77
L0 29 Disimpegno	W	3.169	66
L0 30 ufficio	W	1.879	28
L0 31 LocaleQE	W	5.853	58
L0 32 33 MeetingRoom	W	7.528	238
L0 35 MeetingRoom	W	6.709	119
L0 36 MeetingRoom	W	6.522	238
L0 38 MeetingRoom	W	7.75	119
L0 39 UfficioPostale	W	3.18	110
L0 40 UfficioScurity	W	5.727	88
L0 41 ScalaA	W	6.682	90
L0 42 ScalaB	W	7.091	131
L0 43 ScalaC	W	11.562	130
L0 44 Deposito	W	5.071	55
L0_55_HallIngresso	W	6.187	565
L0 63 Ingresso	W	5.622	102
L0 Cavedio	W	6.125	29
L0 Cavedio	W	4.422	30

Tab12. Carico di illuminazione del piano terra.

Questo procedimento è stato eseguito per tutti i piani non Core and Shell, per questi ultimi infatti non sono stati definiti in progetto il numero e la tipologia di apparecchi illuminanti. Secondo quanto previsto dalla normativa ASHRAE 90.1-2010 questi locali vengono considerati uffici. In ragione di ciò è stato assegnato nel programma un valore in W/m<sup>2</sup> pari a 7; ovvero il valore previsto dalla normativa per gli uffici.

Per ciò che concerne i carichi derivanti dalla presenza degli occupanti è stata effettuata un'analisi delle tavole impiantistiche di progetto, in particolare sono state analizzate le tavole raffiguranti gli impianti di ventilazione meccanica. Per ogni ambiente il progetto impiantistico, conformemente a quanto prescritto dal protocollo ha valutato il numero di occupanti e la ventilazione minima da associare ad ogni stanza. Pertanto è stato estrapolato il numero di persone room per room, tale valore è stato poi riportato sul software IES VE.

Il programma in maniera automatica ha dunque calcolato il carico sensibile ed il carico latente per ogni stanza.

Di seguito si riportano, a titolo di esempio, i carichi inseriti nel piano terra.

Space Name (Real)	Gain 2 Input Mode	Gain 2 Occupancy (m <sup>2</sup> /person)	Gain 2 Occupancy (People)	Gain 2 Max. Sensible Gain (W)	Gain 2 Max. Latent Gain (W)
L0_08-02_Area_break_attesa	People	14.357	5	366.339	293.071
L0_11_MeetingRoom	People	3.328	11	805.946	644.756
L0_30_ufficio	People	2.981	5	366.339	293.071
L0_35_MeetingRoom	People	2.956	6	439.607	351.685
L0_38_MeetingRoom	People	2.559	6	439.607	351.685
L0_39_UfficioPostale	People	34.59	1	73.268	58.614
L0_40_UfficioSicurity	People	7.684	2	146.536	117.228
L0_55_HallIngresso	People	9.132	10	732.678	586.142
L0_32_33_MeetingRoom	People	1.976	16	1172.284	937.828
L0_08-04-03-02-01_ConferenceRiconfig	People	2.234	32	2344.569	1875.655
L0_36_MeetingRoom	People	2.281	16	1172.284	937.828

Tab13. Carico di occupazione piano terra.

Per i piani Core and Shell, è stato inserito all'interno del programma il valore di mq a persona minimi per la destinazione d'uso ufficio specificato nella tabella 1 dell'appendice 2 del manuale LEED.

<b>TABLE 1. Default Occupancy Numbers</b>				
	<b>Gross square feet per occupant</b>		<b>Gross square meters per occupant</b>	
	<b>Employees</b>	<b>Transients</b>	<b>Employees</b>	<b>Transients</b>
General office	250	0	23	0
Retail, general	550	130	51	12
Retail or service (e.g., financial, auto)	600	130	56	12
Restaurant	435	95	40	9
Grocery store	550	115	51	11
Medical office	225	330	21	31
R&D or laboratory	400	0	37	0
Warehouse, distribution	2,500	0	232	0
Warehouse, storage	20,000	0	1860	0
Hotel	1,500	700	139	65
Educational, daycare	630	105	59	10
Educational, K-12	1,300	140	121	13
Educational, postsecondary	2,100	150	195	14

Tab14. Prospetto per determinare l'occupazione in base alla destinazione d'uso, Tabella 1 dell'allegato A al manuale LEED.

Per tanto sono stati inseriti 23 mq a persona per ogni room ed il programma ha calcolato in maniera automatica il numero di persone e i carichi ad esse connessi. Di seguito si riportano i dati del piano Core and Shell L1.

Space Name (Real)	Gain 2 Input Mode (Real)	Gain 2 Occupancy (m <sup>2</sup> /person) (Real)	Gain 2 Occupancy (People) (Real)	Gain 2 Max. Sensible Gain (W) (Real)	Gain 2 Max. Latent Gain (W) (Real)
L1_7_OpenSpace CS	m <sup>2</sup> /person	23	3.24523	237.771	190.217
L1_8_OpenSpace CS	m <sup>2</sup> /person	23	1.3509	98.977	79.182
L1_10_OpenSpace CS	m <sup>2</sup> /person	23	1.55048	113.6	90.88
L1_11_OpenSpace CS	m <sup>2</sup> /person	23	4.10172	300.524	240.419
L1_12_OpenSpace CS	m <sup>2</sup> /person	23	0.858189	62.878	50.302
L1_13_OpenSpace CS	m <sup>2</sup> /person	23	1.52471	111.712	89.37
L1_14_OpenSpace CS	m <sup>2</sup> /person	23	2.45847	180.126	144.101
L1_15_OpenSpace CS	m <sup>2</sup> /person	23	3.17836	232.872	186.297
L1_16_OpenSpace CS	m <sup>2</sup> /person	23	1.00851	73.891	59.113
L1_17_OpenSpace CS	m <sup>2</sup> /person	23	0.689552	50.522	40.418
L1_19_OpenSpace CS	m <sup>2</sup> /person	23	3.59033	263.055	210.444

Tab15. Carico di occupazione piano primo.

Il contributo delle apparecchiature elettriche viene invece calcolato in maniera automatica dal software in base alla destinazione d'uso assegnata con il room group space by space.

### ***Baseline***

L'inserimento dei valori di occupazione, di assorbimento dell'illuminazione e delle apparecchiature elettriche viene effettuato direttamente dal programma durante la generazione del modello di Baseline.

I dati inseriti dal programma sono gli stessi del Proposed sia per quanto concerne il numero di persone che per le apparecchiature elettriche.

Il carico derivante dall'illuminazione invece viene assegnato stanza per stanza seguendo i carichi previsti da normativa in base alla destinazione d'uso.

## 4.2.2 Profili di utilizzo

I profili di utilizzo costituiscono un elemento fondamentale per la determinazione del carico interno orario, giornaliero, settimanale ed annuale. Questo perché la definizione dei carichi interni illustrata al paragrafo Internal Gains, ci informa soltanto su quali sono i carichi presenti in ambiente derivanti da fattori endogeni, ma non ci indica quando questi fattori entrano in gioco. Per effettuare queste valutazioni si ricorre alla definizione dei profili di utilizzo; in generale è possibile definire i seguenti profili:

- Giornaliero;
- Settimanale;
- Annuale;

Per realizzare il profilo giornaliero è necessario indicare per tutte le 24 ore del giorno quando il fattore di carico è presente e quando è assente. Nel caso degli uffici si assegnerà pertanto il carico legato alle persone soltanto nelle ore di lavoro, settandolo a zero nella restante parte della giornata.

In base alla destinazione d'uso si possono avere più profili giornalieri durante la settimana; è tuttavia opportuno distinguere sempre il profilo dei giorni feriali da quello dei giorni festivi.

L'assegnazione del profilo giornaliero per tutti i giorni della settimana porta alla definizione del profilo settimanale; analogamente avviene per quanto riguarda il profilo annuale, generato dall'assegnazione dei profili settimanali.

In caso di modellazione finalizzata all'ottenimento della certificazione LEED è necessario utilizzare i profili definiti dalla normativa ASHRAE 90.1-2010.

Sia per la modellazione del Proposed che per quella del Baseline il software effettua il download dei profili generati secondo gli standard normativi. Al fine di assegnare i profili alle room è necessario utilizzare lo strumento "template" presente all'interno del modulo "Apache". Attraverso questo tool è possibile assegnare in base alla destinazione d'uso, definita in precedenza con il Room Group Space by Space, i profili definiti secondo normativa per tutti i carichi interni. Come riportato nella figura seguente per il template SPACE: Office-Open plane sono stati assegnati come carichi interni People, Computers e Fluorescent Lighting.

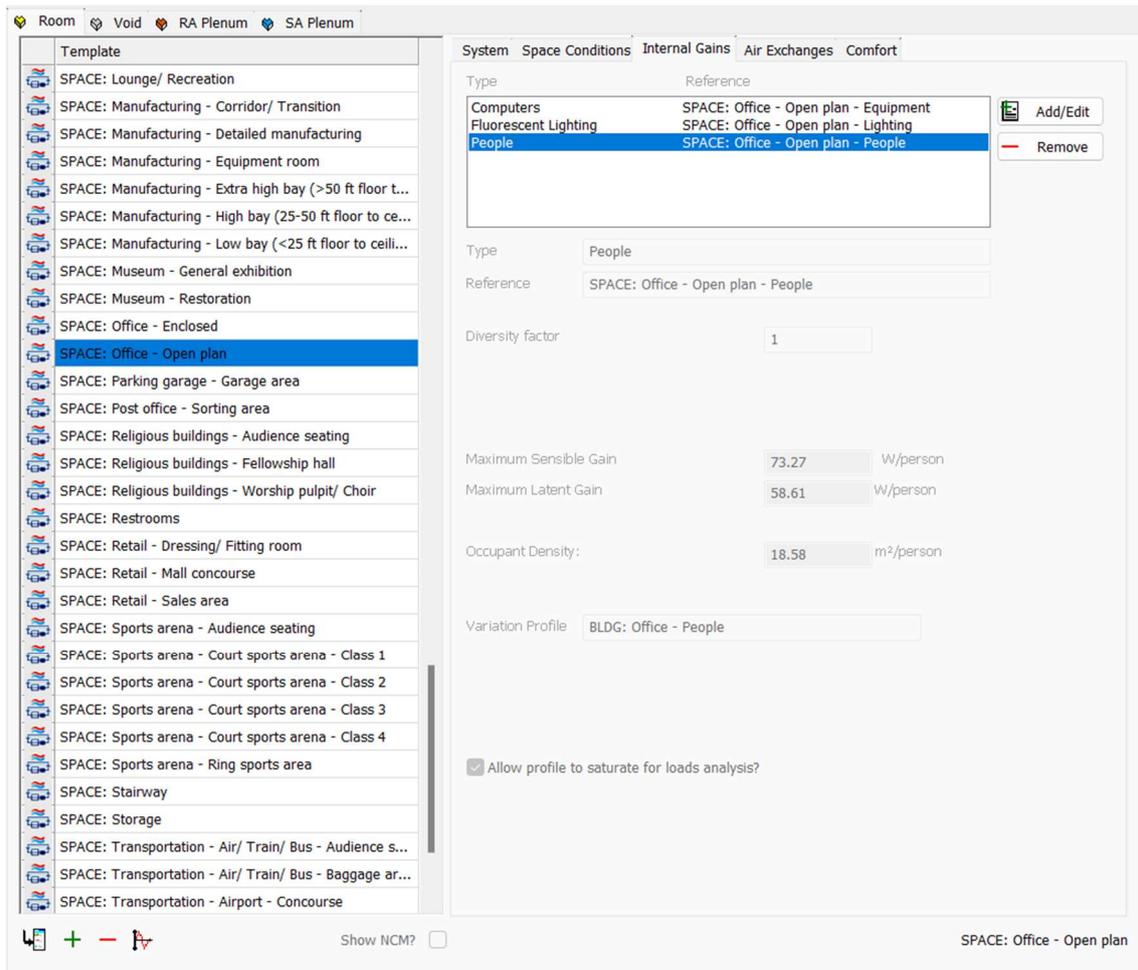


Fig38. Template, software IES.

La medesima procedura è stata eseguita per tutte le destinazioni d'uso, assegnando soltanto i carichi presenti per quella destinazione con i rispettivi profili.

Di seguito si riportano i profili orari per i carichi derivanti da persone, apparecchi elettrici e illuminazione assegnati per la destinazione d'uso Office- Open plan.

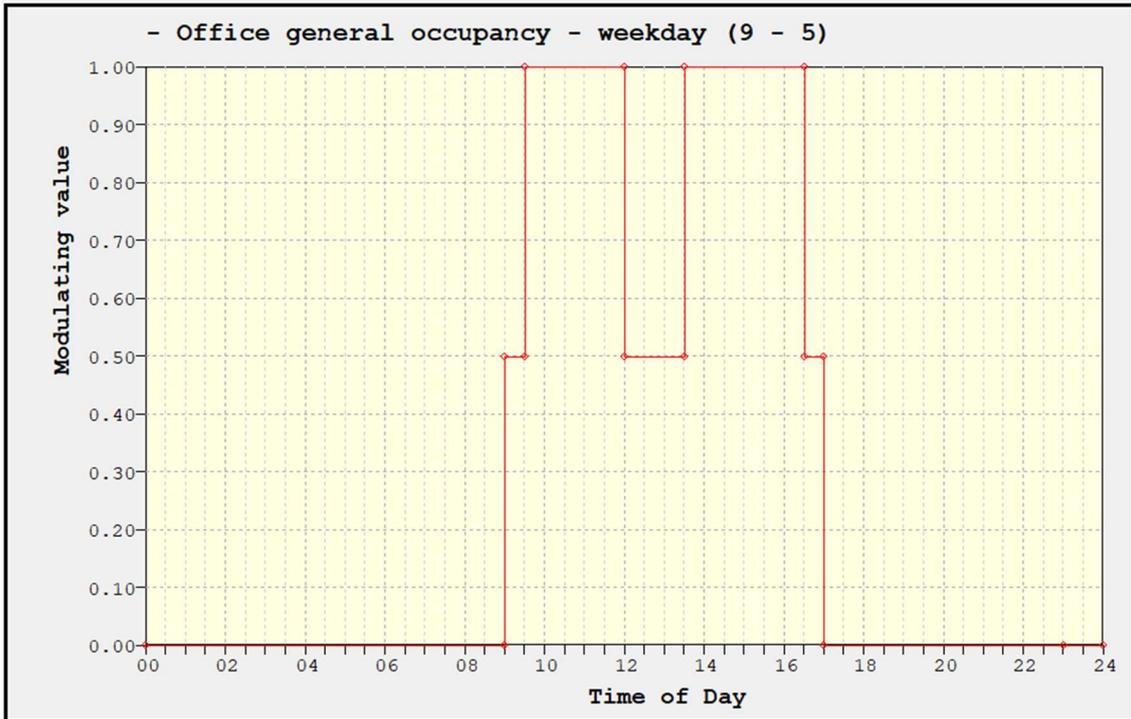


Fig39. Profilo di occupazione di un ufficio dal lunedì al venerdì, software IES.

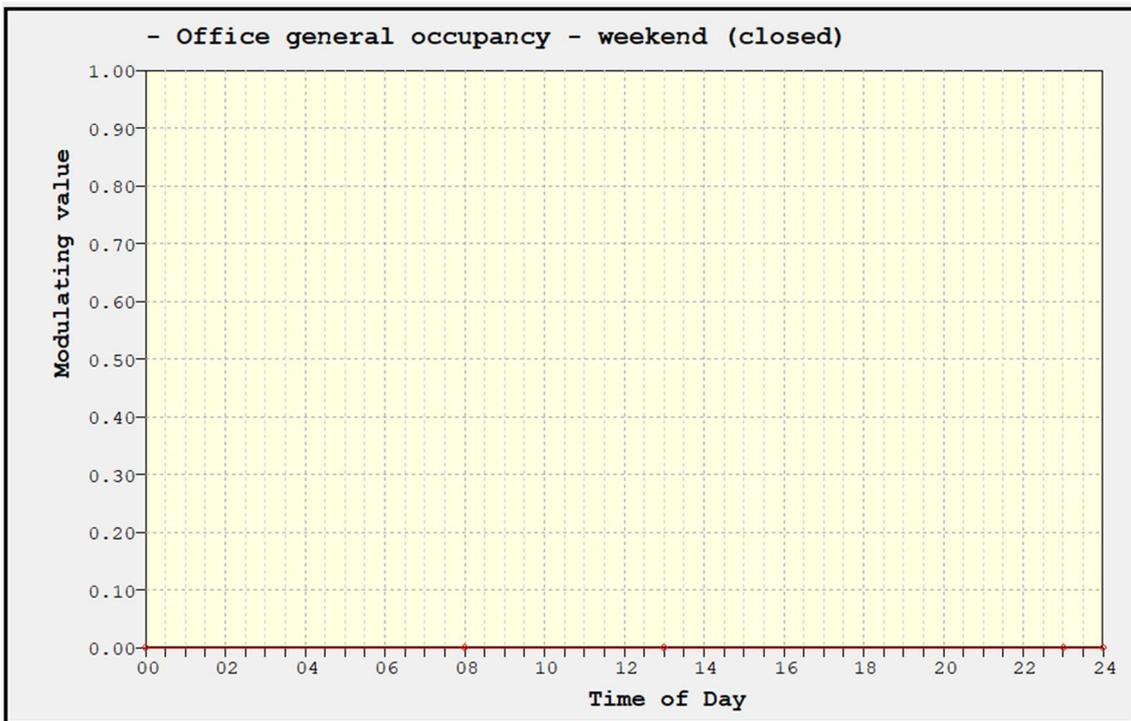


Fig40. Profilo di occupazione di un ufficio weekend, software IES.

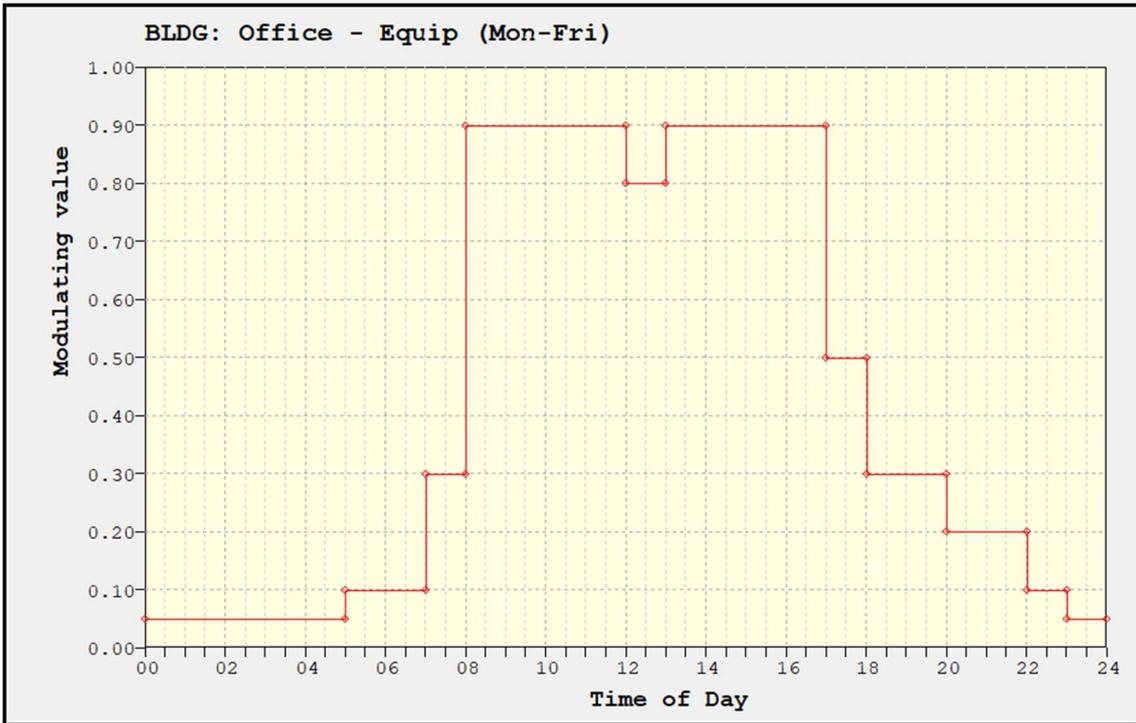


Fig41. Profilo di accensione degli equipment dal lunedì al venerdì, software IES.

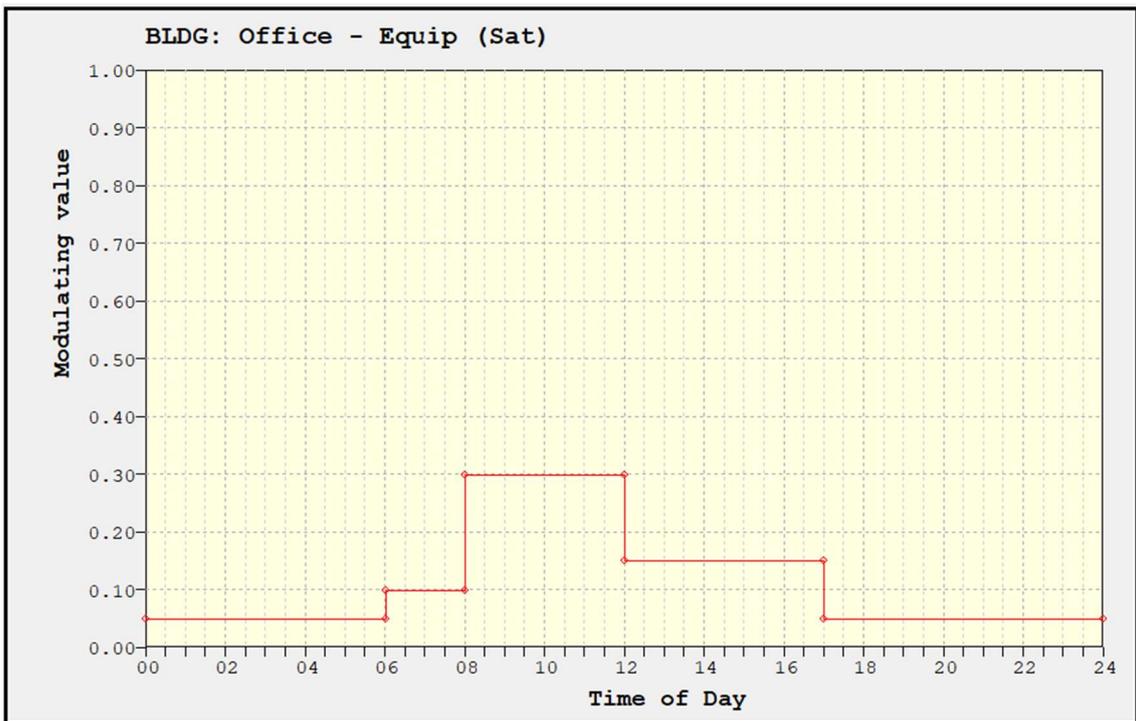


Fig42. Profilo di accensione degli equipment Sabato, software IES.

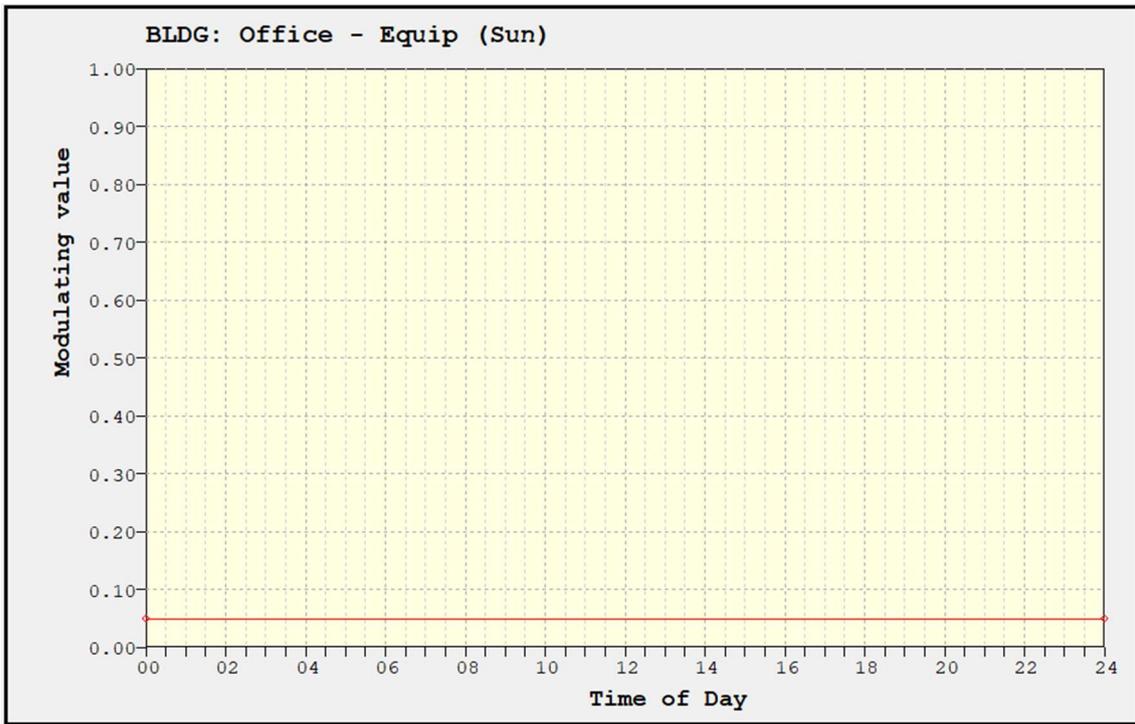


Fig43. Profilo di accensione degli equipment Domenica, software IES.

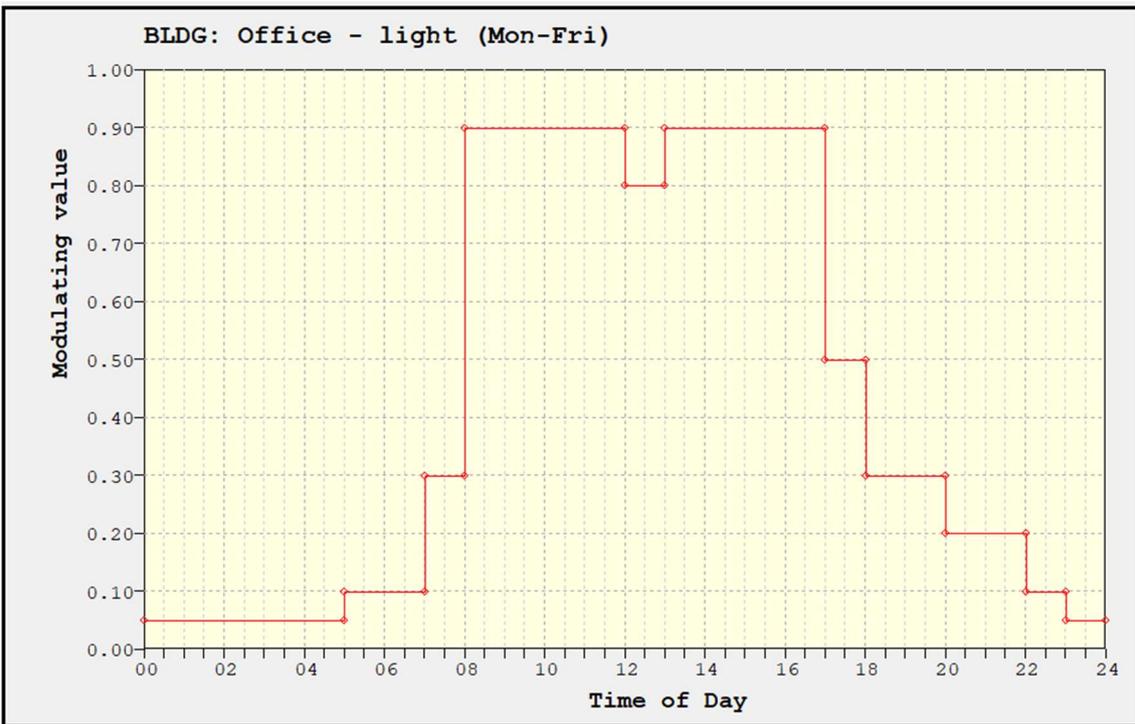


Fig44. Profilo di accensione delle luci dal lunedì al venerdì, software IES.

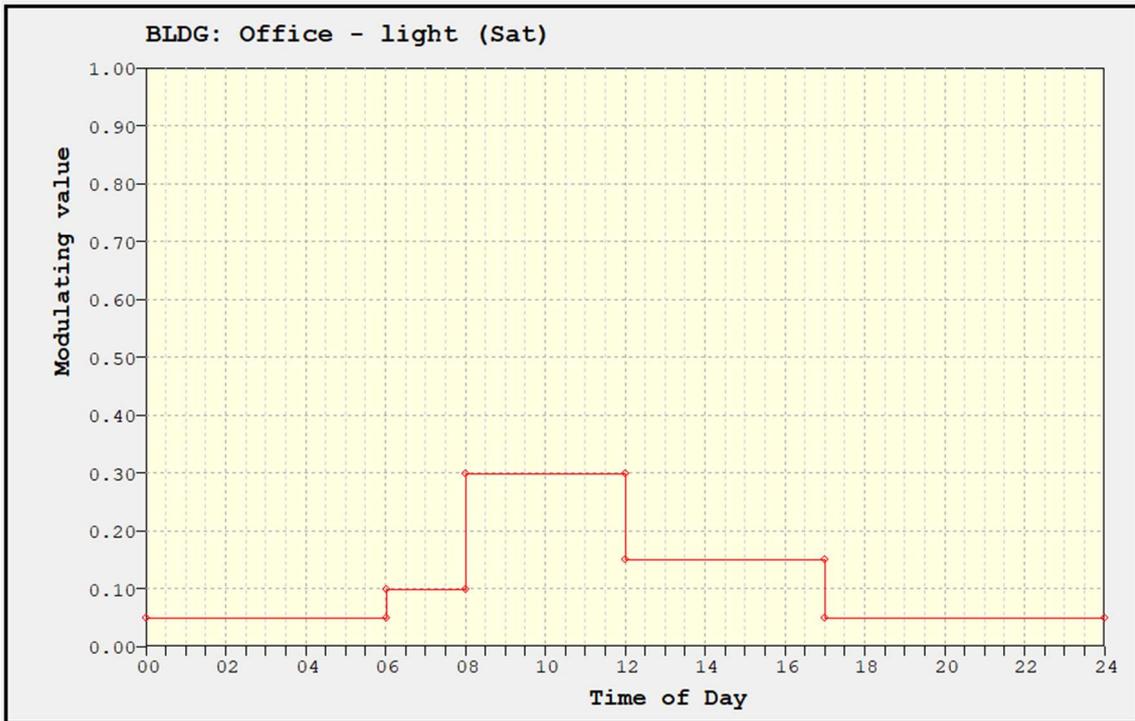


Fig45. Profilo di accensione delle luci Sabato, software IES.

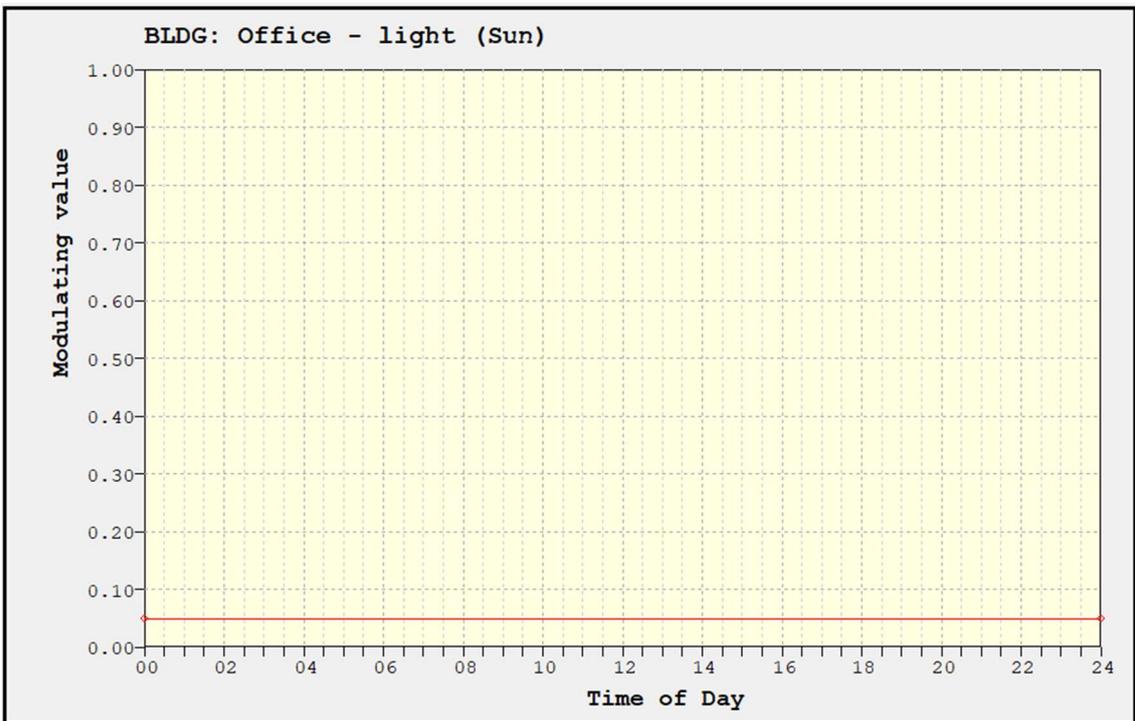


Fig46. Profilo di accensione delle luci Domenica, software IES.

### **4.3 Impianti per la climatizzazione**

I sistemi HVAC acronimo di Heating, Ventilation and air conditioning costituiscono la parte impiantistica del sistema involucro-impianto grazie alla quale è possibile; attraverso strategie di riscaldamento, raffrescamento, ricambio e umidificazione dell'aria; soddisfare il carico termico estivo ed invernale garantendo all'occupante benessere, comfort e una buona qualità dell'aria interna.

I sistemi HVAC rappresentano uno dei sistemi più utilizzati al mondo per riscaldare, raffrescare e deumidificare edifici con differenti destinazioni d'uso; essi sono infatti presenti tanto in edifici industriali quanto in edifici residenziali o destinati ad uffici.

La diffusione di questi sistemi è legata sia alla loro capacità di fornire ottime prestazioni in termini di risparmio energetico sia alla facilità di integrazione con i sistemi rinnovabili. La tipologia di HVAC da utilizzare in progetto dipende dalla zona climatica, dalla tipologia di destinazione d'uso, dal livello di isolamento del fabbricato e dal budget previsto per gli impianti.

Tutti i sistemi sono costituiti da macchine per il trattamento dell'aria posti all'esterno dell'edificio o in locali tecnici dedicati, da sistemi di distribuzione costituiti tipicamente da canali e da sistemi terminali di immissione e estrazione.

A seconda delle caratteristiche dell'aria esterna questa viene filtrata, riscaldata o raffrescata per poi essere distribuita in ambiente. Successivamente l'aria viene estratta ed espulsa dall'ambiente o riutilizzata da altri sistemi impiantistici.

I generatori di acqua calda sanitaria sono invece dispositivi che attraverso bruciatori, resistenze elettriche e sistemi aria-gas refrigerante producono acqua calda.

### 4.3.1 Proposed

La modellazione degli impianti del modello di progetto è stata realizzata in linea con quanto previsto dal progetto impiantistico. Il progetto prevede l'installazione di impianti per il riscaldamento, raffrescamento, ricambio dell'aria e produzione di acqua calda sanitaria.

I servizi di riscaldamento e raffrescamento hanno come generazione:

Una pompa di calore multifunzione monoblocco, detta anche polivalente che possiede le seguenti caratteristiche:

- Produzione contemporanea caldo freddo;
- Recupero di calore quando la macchina funziona in regime parziale;
- Pompa di calore con compressore scroll;
- Condensato ad aria;
- Potenza frigorifera: 316 kW;
- Potenza termica: 346,6 kW;
- Temperatura Fluidi: 40/45 °C - 7/12°C;
- Gruppo pompe inverter integrato;
- Tipo di gas refrigerante R454B;

Di seguito si riporta la curva di rendimento della pompa di calore in freddo e in caldo:

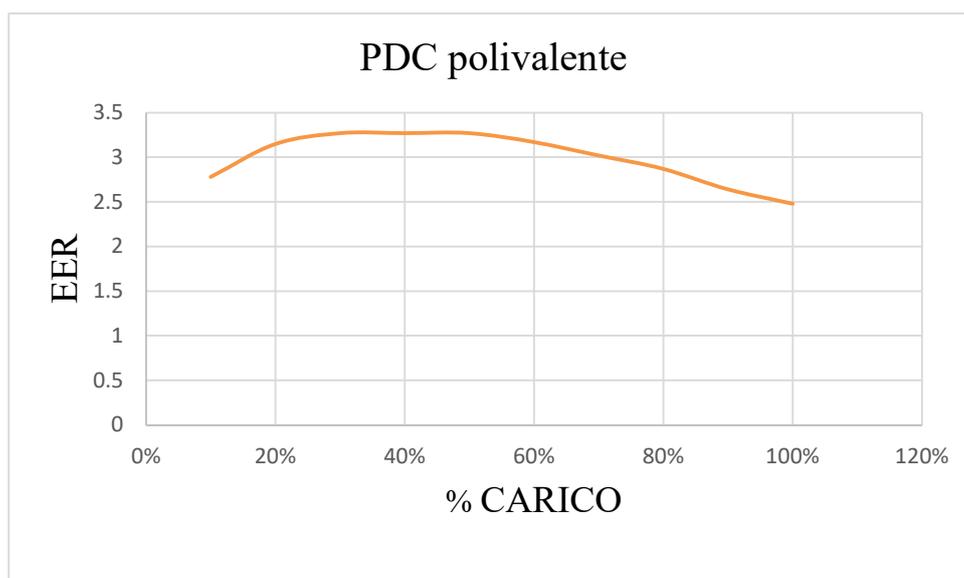


Fig47. Curva di rendimento della pompa di calore in raffrescamento.

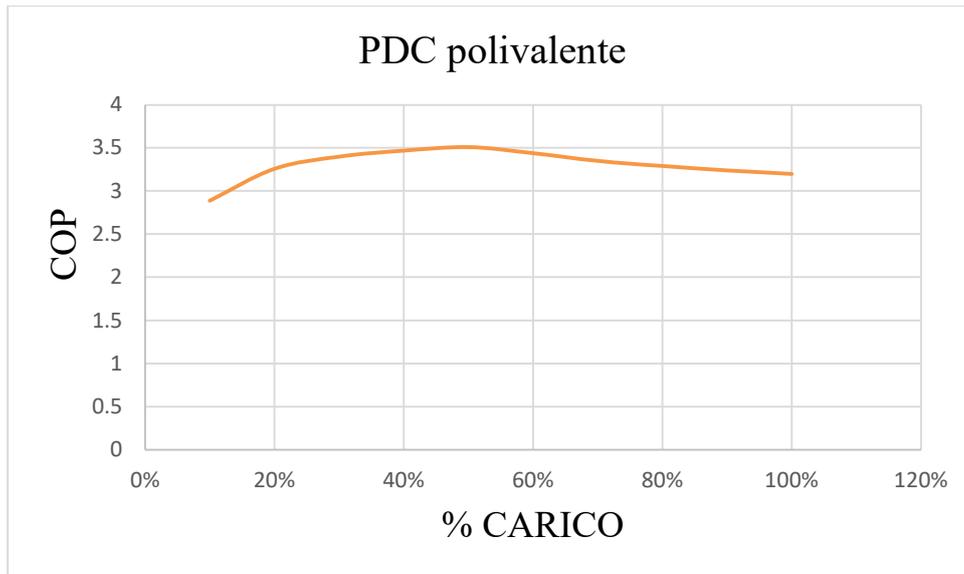


Fig48. Curva di rendimento della pompa di calore in riscaldamento.

Una pompa di calore reversibile monoblocco, con le seguenti caratteristiche:

- Recupero di calore quando la macchina funziona in regime parziale;
- A pompa di calore con compressore scroll;
- Condensato ad aria;
- Potenza frigorifera: 310,09 kW;
- Potenza termica: 335,0 kW;
- Temperatura Fluidi: 40/45 °C - 7/12°C;
- Gruppo pompe inverter integrato;
- Tipo di gas refrigerante R454B;

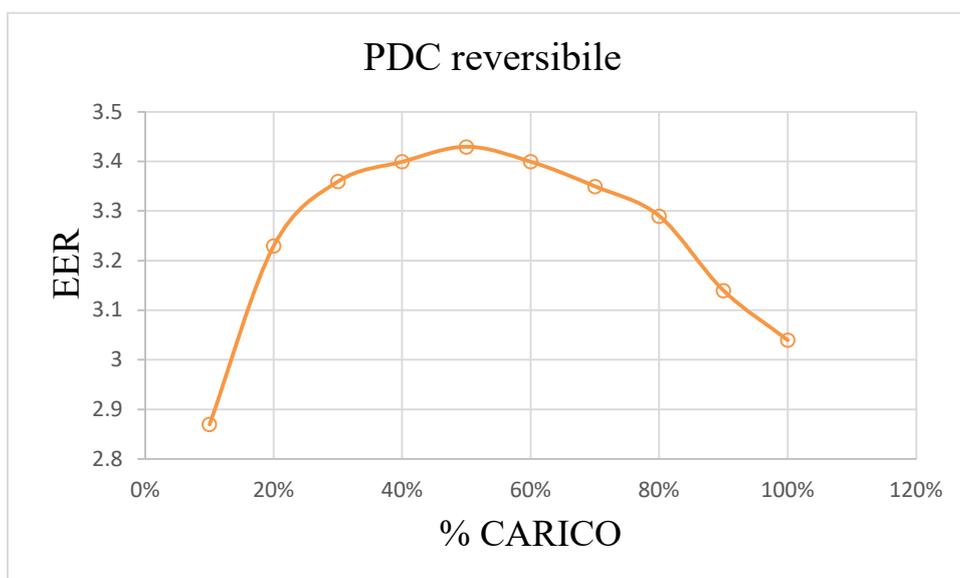


Fig49. Curva di rendimento della pompa di calore in raffrescamento.

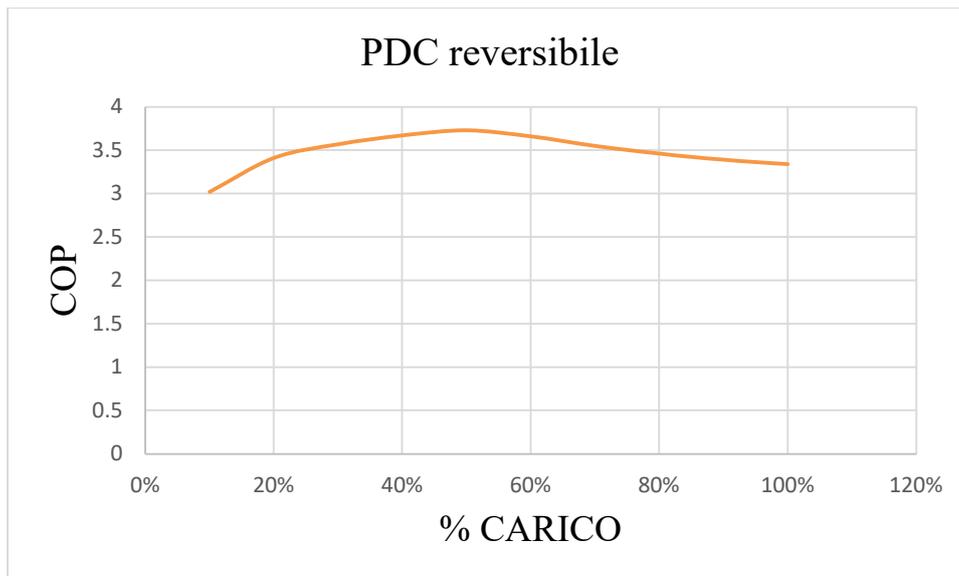


Fig50. Curva di rendimento della pompa di calore in riscaldamento.

L'unità polivalente è condensata ad aria per sistemi a 4 tubi con produzione simultanea ed indipendente di acqua calda e fredda. L'unità reversibile ha un funzionamento a commutazione stagionale, ottimizzato per raffrescamento nel periodo estivo e riscaldamento nel periodo invernale.

Le pompe di calore sono dotate di una centralina con logica di funzionamento in grado di calcolare e garantire il funzionamento in regime di massima efficienza, andando ad agire sulle priorità di accensione dei vari gruppi in cascata o in parallelo attraverso un meccanismo di gestione chiamato ClimaPRO. Per soddisfare i carichi termici dell'impianto, garantendo sempre il minimo consumo energetico, il sistema seleziona in maniera dinamica la migliore combinazione possibile tra le unità stabilendo quali unità attivare e la percentuale di lavoro di ogni singolo componente al fine di ridurre al minimo i consumi elettrici, soprattutto in presenza di recuperi termici. Questo sistema si occuperà inoltre di gestire una corretta rotazione delle accensioni ed ore di lavoro tra le macchine così da aumentarne la durata e l'efficienza. Infine, in caso di anomali valori di efficienza il sistema dovrà comunicare un errore al sistema BMS.

Per ciò che riguarda la distribuzione, sono stati previsti due cavedi fluidi, uno centrale nominato Cavedio A ed uno sulla parte sinistra dell'edificio detto Cavedio B. In entrambi i cavedi è prevista una colonna montante per il circuito caldo ed una per il freddo, a servizio di tutto l'edificio.

I terminali di impianto per tutte le rooms dell'edificio, ad eccezione di bagni e vano scale, sono fancoil del tipo a 4 tubi per il riscaldamento e raffrescamento. Ogni locale, zona

termica, modulo di facciata è dotato di un fancoil con regolazione indipendente ma anche centralizzata. In base allo spazio disponibile nelle rooms sono stati utilizzati:

- fancoil ad incasso nei moduli di facciata cellulare prefabbricata;
- fancoil canalizzati a soffitto con diffusori lineari quando è disponibile spazio nel controsoffitto;
- termo-arredi in ogni bagno per garantire un buon comfort;
- radiatori nel vano scale;

Le pompe di calore in inverno producono acqua calda per l'alimentazione dei terminali di riscaldamento presenti in ambiente, per le batterie di riscaldamento e post riscaldamento delle UTA. L'acqua calda prodotta viene inoltre mandata alla pompa di calore dedicata all'acqua calda sanitaria che entra in funzione solo se la temperatura di ingresso dell'acqua non è sufficiente.

In estate le pompe di calore alimentano il sistema di raffrescamento e le batterie fredde delle UTA; inoltre effettuano un recupero di calore grazie al quale mandano dell'acqua preriscaldata alla pompa di calore dedicata all' ACS, di seguito all'immagine 51 si riporta lo schema altimetrico.

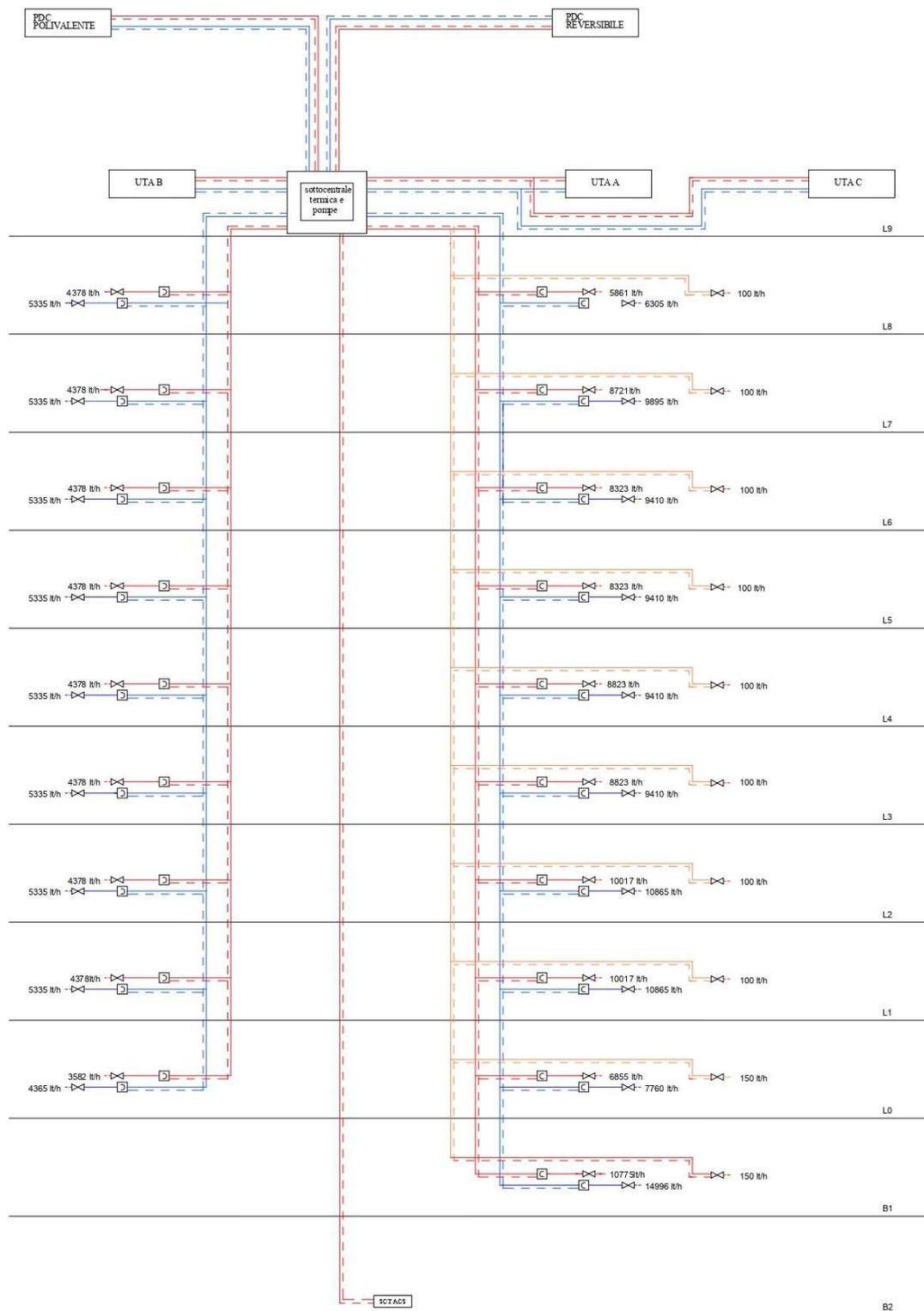


Fig51. Schema altimetrico PDC.

La generazione dell'acqua calda sanitaria viene fatta per mezzo di una pompa di calore acqua-acqua della potenza di 70 kW che riceve in ingresso dell'acqua preriscaldada dalla pompa di calore che serve il sistema riscaldamento in inverno e da un sistema di recupero

del calore della pompa di calore che serve il sistema di raffrescamento in estate. L'acqua viene riscaldata a 55°C e poi convogliata in due bollitori da 1250 litri.

L'impianto di ventilazione meccanica è costituito da tre UTA, ubicate sul tetto dell'edificio, composte da:

- Mandata e ripresa con ventilatori inverter a portata variabile (pressione costante);
- Batteria caldo/freddo;
- Batteria di post-riscaldamento;
- Sezione di umidificazione;
- Configurazione da esterno;
- Silenziatori di linea;
- Recupero a batteria idronica;
- Filtro elettronico;
- Sezione a raggi UV;

Le UTA sono state classificate come UTA A, UTA B e UTA C in base al cavedio in cui scorrono i canali di distribuzione e dunque in base alle zone dell'edificio servite. Di seguito si riporta l'ubicazione dei cavedi.

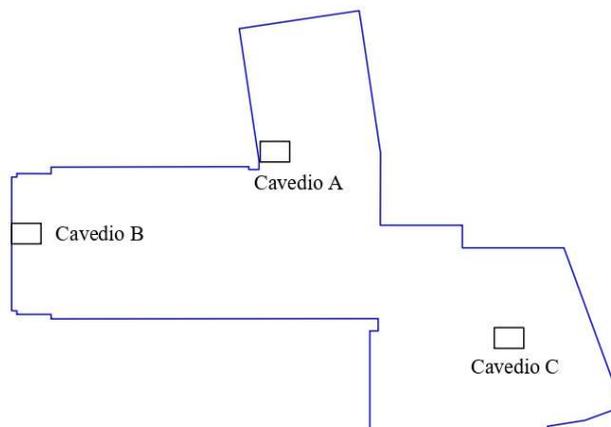


Fig52. Ubicazione dei cavedi (Scala 1:500).

L'UTA A è caratterizzata da una portata di 15338 mc/h in immissione e 14998 mc/h in estrazione; l'UTA B ha una capacità di immissione di 10914mc/h e 10572 mc/h in

estrazione l'UTA C ha invece una capacità di 10572 mc/h in immissione e 11082 mc/h in estrazione, di seguito si riporta lo schema altimetrico.

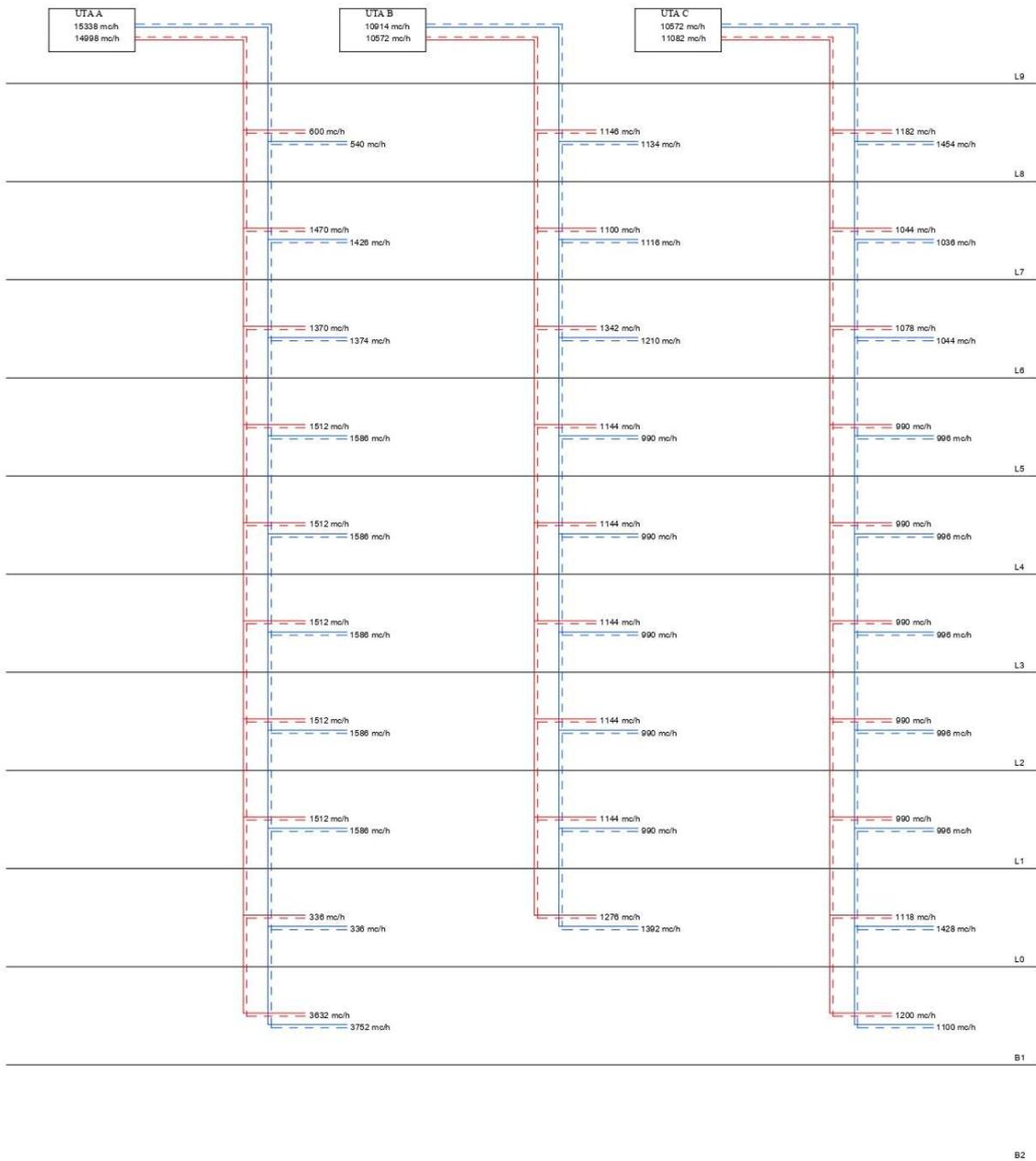


Fig.53. Schema altimetrico UTA.

Per garantire un buon comfort ed una buona estetica, in mandata sono previsti diffusori lineari a feritoie ad altissima induzione.

Questo diffusore, da installare a soffitto e veletta garantisce una buona miscelazione dell'aria ambiente, con basse velocità e basse variazioni di temperatura. Tutti i terminali

ambiente sono dotati di modulo di regolazione a portata costante, così da garantire un corretto flusso in ogni ambiente.

Al fine di modellare l'impianto in maniera coerente al progetto impiantistico è stata effettuata un'analisi degli elaborati di progetto per desumere le caratteristiche dei terminali degli impianti di ventilazione, riscaldamento e raffrescamento per ogni room dell'edificio.

Per ogni room è stata estrapolata dalle tavole di progetto la portata di immissione ed estrazione dell'aria; questa è stata poi assegnata sul software room per le room.

Per ogni tipologia di fancoil sono stati estrapolati dalle schede tecniche i seguenti dati:

- Portata media [mc/h];
- Portata minima [mc/h];
- Potenza di riscaldamento[W];
- Potenza di raffrescamento [W];
- Assorbimento [W];

Per ogni locale è stata condotta un'analisi sul tipo e il numero di terminali presenti; moltiplicando il valore delle caratteristiche sopra riportate per il numero di terminali presenti con quelle caratteristiche è stato ottenuto il contributo che ogni tipologia di fancoil fornisce alla stanza in termini di potenze, assorbimento e portate.

Sommando i contributi derivanti da tutte le diverse tipologie di fancoil presenti nella room è stato ottenuto il valore complessivo delle grandezze sopra elencate per ogni room modellata. Questo procedimento è stato utilizzato sia per i piani non Core and Shell che per quelli Core and Shell, in quanto è stata definita in progetto la tipologia e l'ubicazione dei terminali anche per questi piani. Le potenze totali delle room in cui è presente il termo- arredo o i radiatori sono state calcolate in maniera analoga. Di seguito si riporta un esempio di calcolo per la room L0\_11\_MeetingRoom.

L0_11_MeetingRoom			
DATI	CRC64-IV-IO	N° CRC64-IV-IO	TOTALE
Portata max [m3/h]	475	2	950
Portata min [m3/h]	270	2	540
Potenza risc[ W]	3870	2	7740
Potenza raffr [W]	3200	2	6400
Potenza fan [W]	15	2	30

Tab16. Calcolo dati fancoil stanza L0\_11MeetingRoom.

La modellazione degli impianti sul software è stata realizzata attraverso l'ausilio del modulo Apache e Apache HVAC system. Sull'apposita sezione del modulo Apache sono stati inseriti i valori delle portate d'aria in immissione ed estrazione per tutte le room; sul modulo Apache HVAC system invece è stata effettuata la modellazione effettiva degli impianti.

Grazie al room group HVAC Proposed sono state divise le room in base all'UTA dalla quale sono servite; ciò in ragione del fatto che la modellazione degli impianti è stata realizzata UTA per UTA. Di seguito si riporta uno stralcio in cui è presente lo schema di modellazione dell'UTA A.

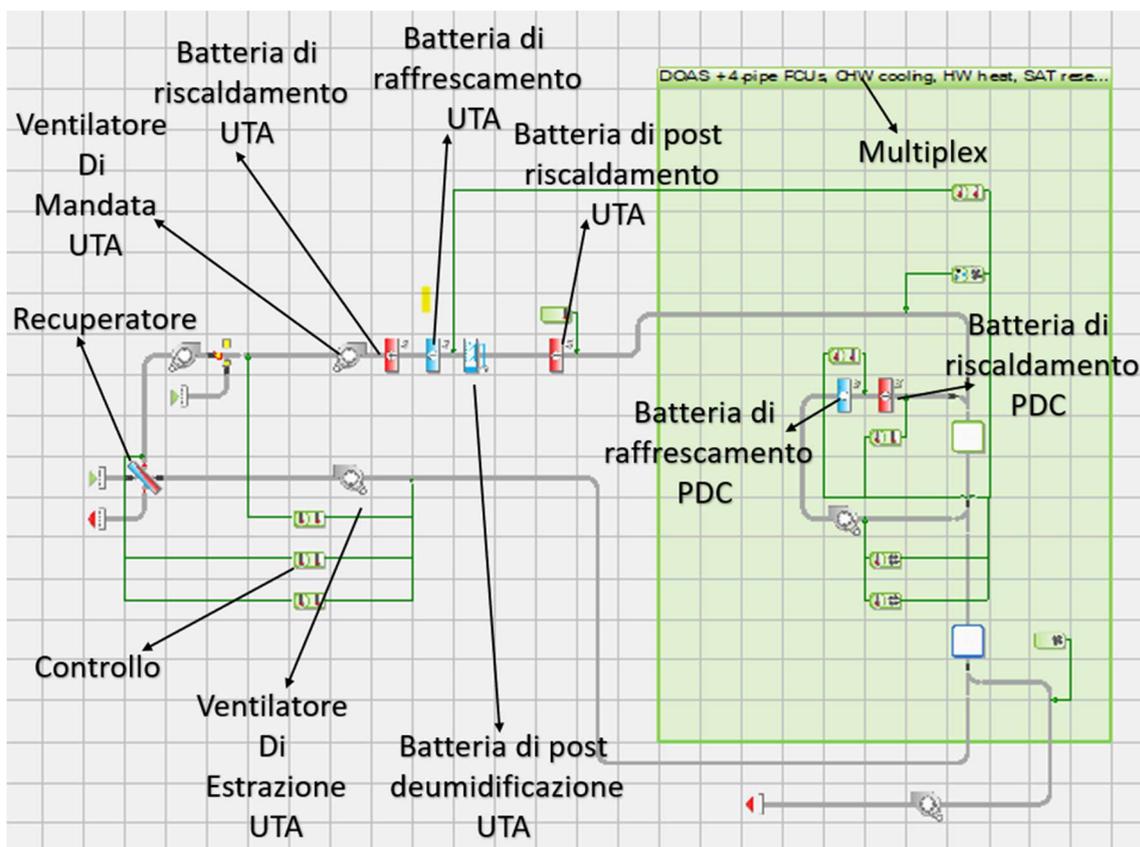


Fig54. Schema impianto Proposed, software IES.

Nello schema in figura è possibile distinguere, nella parte sinistra, gli elementi principali dell'UTA ovvero il recuperatore, il ventilatore di mandata, la batteria di riscaldamento, la batteria di raffreddamento, la batteria di deumidificazione, la batteria di post riscaldamento e il ventilatore di estrazione. Le caratteristiche di questi elementi sono state estrapolate dalle schede tecniche e poi inserite nel modello. Tali caratteristiche sono state raggruppate nella tabella sottostante.

UTA A		
Riscaldamento	Pot risc Tot [kW]	40.37
Raffrescamento	Pot raffr. Tot [kW]	123.94
Post Riscaldamento	Pot risc Tot [kW]	69.58
PAE	Portata aria ext [m3/h]	15500
	Portata aria ext [l/s]	4306
Ventilatori	Portata immissione TOT [m3/h]	15500
	Portata immissione TOT [l/s]	4305.56
	Potenza fan mandata [kW]	3.5
	Potenza fan ripresa [kW]	3.5
	Pressione TOT mandata [Pa]	771
	Pressione TOT ripresa [Pa]	729
Recuperatore	Efficienza recuperatore [%]	74.2

Tab17. Dati UTA A.

Il Multiplex, ovvero il rettangolo verde presente in figura 54 ci consente di inserire tutti i locali a servizio dell'impianto e di ripetere per ognuno di essi tutte le operazioni progettate all'interno del rettangolo. Dopo aver collegato tutte le room connesse all'UTA, sono stati inseriti tutti i valori di potenza dei terminali room per room all'interno delle batterie della PDC; inoltre sono stati modellate tutte le portate di estrazione dai bagni e dalle altre di servizio assegnando a queste i terminali presenti nelle stesse, ovvero i radiatori e il termo-arredo.

Successivamente sono stati modellati i generatori con i dati ottenuti dalla scheda tecnica. La stessa operazione è stata effettuata per i locali serviti dalle UTA B e UTA C.

In merito all'impianto di produzione di acqua calda sanitaria, questo è stato modellato creando una PDC con i dati estrapolati dalla scheda tecnica e assegnando tutti i locali nei quali è presente il servizio.

In progetto è inoltre prevista l'installazione di un impianto fotovoltaico costituito da 84 moduli con potenza di picco pari a  $400W_p$ .

La produzione di energia annuale dell'impianto è stata calcolata attraverso il tool di calcolo online PVGIS, il valore determinato da questa analisi è pari a 36,6 MWh.

### 4.3.2 Baseline

Al fine di modellare gli impianti del modello Baseline è stata consultata la normativa ASHRAE 90.1 del 2010 per determinare la tipologia impiantistica, nella fattispecie sono state analizzate le tabelle G 3.1.1A, G.3.1.1B, ovvero le tab 2 e 3 presenti nel capitolo 1.

La scelta della tipologia impiantistica è basata sulla tipologia dell'edificio Proposed, gli impianti cambiano in funzione della destinazione d'uso, del numero di piani, di mq e della tipologia di impianti prevista in progetto.

L'impianto di progetto è alimentato interamente da energia elettrica, per cui avendo più di cinque piani ed avendo una destinazione d'uso diversa dal residenziale, il caso studio avrà la tipologia impiantistica 8.

La tipologia 8 è caratterizzata da un sistema di ventilazione VAV con batteria fredda alimentata da un circuito idronico e batteria calda da un'resistenza elettrica. Il sistema di raffrescamento è caratterizzato da un chiller ad acqua condensato a torre mentre il servizio di riscaldamento da resistenze elettriche ad effetto Joule.

La norma impone di assegnare un impianto ad ogni piano dell'edificio, pertanto è stato modellato un impianto per ogni piano che va dal B1 al L8, ovvero per ogni piano climatizzato.

La modellazione dell'impianto sul software è stata realizzata scaricando la tipologia di impianto 8 ed assegnandola al piano corrispondente; il programma infatti dà la possibilità di utilizzare degli impianti preimpostati realizzati appositamente per la creazione del modello di Baseline.

Oltre a fornire lo schema dell'impianto il software assegna in maniera automatica le potenze ed efficienze di tutti i componenti impiantistici.

Di seguito alle figure 55 e 56 si riportano la curva di rendimento del chiller condensato a torre e lo schema di impianto modellato su IES.

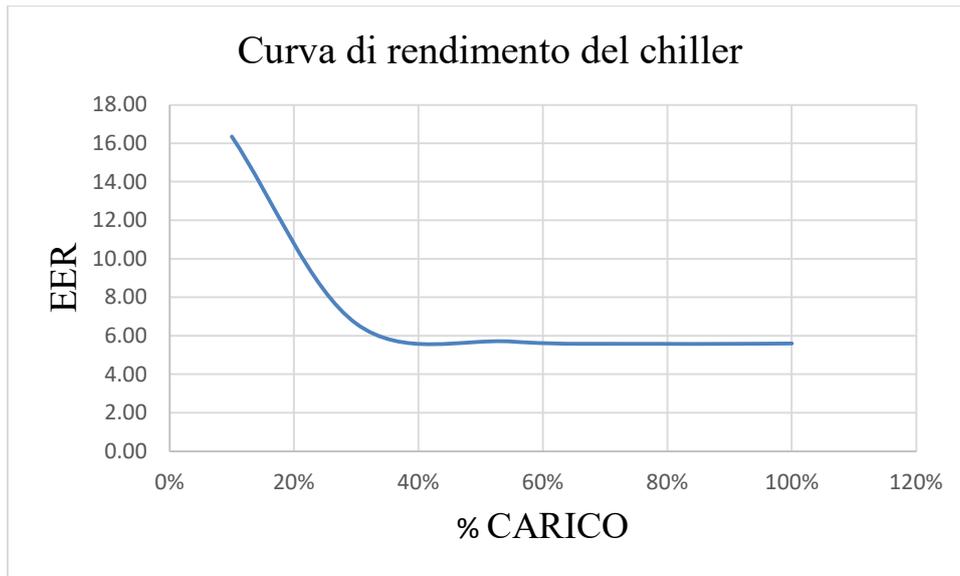


Fig55. Rendimento chiller condensato a torre.

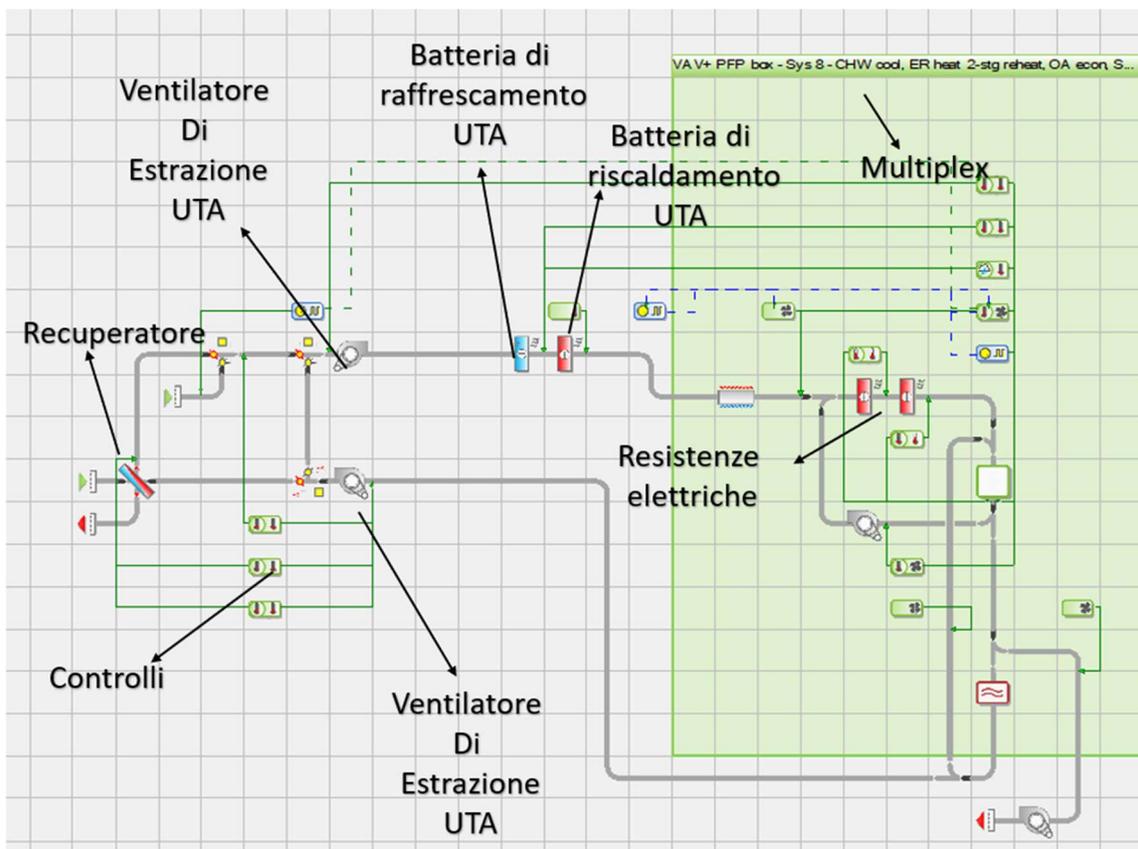


Fig56. Schema impianto Baseline, software IES.

## 5 RISULTATI

L'insieme dei consumi derivanti dai sistemi energivori presenti all'interno dell'edificio costituisce il dato più importante al fine dell'ottenimento del punteggio finale per il credito Optimize Energy Performance. Questo dato calcolato per i modelli di Baseline e Proposed costituisce infatti il risultato finale delle analisi.

Il confronto tra i consumi del modello di riferimento e quelli del modello di progetto viene realizzato in maniera conforme a quanto previsto dalla normativa ASHRAE 90.1-2010, ovvero attraverso la formula:

$$\text{Percentage improvement} = \frac{100 \times (\text{Baseline buiding performance} - \text{Proposed Building performance})}{\text{Baseline buiding performance}}$$

Questa percentuale viene calcolata sul totale dei consumi, per determinare il Proposed Building performance oltre ad effettuare la somma dei consumi di tutti i servizi, secondo quanto prescritto dal protocollo, è necessario sottrarre dal totale l'ammontare di energia prodotta da fonti rinnovabili.

## 5.1 Consumi di Equipment

I consumi dei dispositivi elettrici utilizzati all'interno del fabbricato sono identici, ciò è in linea con quanto atteso poiché i carichi imputati all'interno delle rooms sono presi entrambi dai prospetti della normativa ASHRAE 90.1-2010.

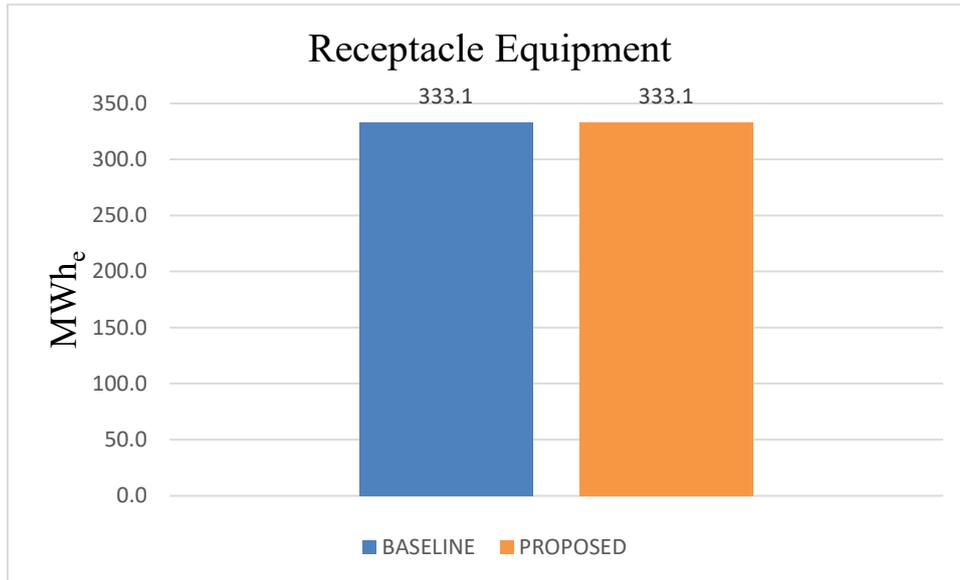


Fig57. Confronto consumi di equipment annuale.

La percentuale di miglioramento per questo servizio è pertanto pari allo 0%.

Di seguito si riportano i consumi per mese:

Date	BASELINE MWh <sub>e</sub>	BASELINE kWh <sub>e</sub> /m <sup>2</sup>	PROPOSED MWh <sub>e</sub>	PROPOSED kWh <sub>e</sub> /m <sup>2</sup>
Jan 01-31	26.31	2.27	26.31	2.27
Feb 01-28	26.07	2.25	26.07	2.25
Mar 01-31	29.53	2.55	29.53	2.55
Apr 01-30	27.53	2.38	27.53	2.38
May 01-31	27.7	2.39	27.7	2.39
Jun 01-30	27.53	2.38	27.53	2.38
Jul 01-31	28.83	2.49	28.83	2.49
Aug 01-31	28.69	2.48	28.69	2.48
Sep 01-30	28.38	2.45	28.38	2.45
Oct 01-31	27.99	2.42	27.99	2.42
Nov 01-30	27.53	2.38	27.53	2.38
Dec 01-31	27.01	2.33	27.01	2.33
Summed total	333.1	28.78	333.1	28.78

Tab18.Tabella confronto consumi di equipment per mese.

## 5.2 Consumi Lights

Il consumo di illuminazione è pari alla somma dei consumi derivanti dall'illuminazione interna e da quella esterna sia per il modello Baseline che per il modello Proposed. I valori ottenuti dal confronto mostrano un consumo molto simile tra i due modelli, mentre i carichi imputati nel Baseline sono estrapolati da normativa quelli del Proposed sono derivanti dal progetto illuminotecnico.

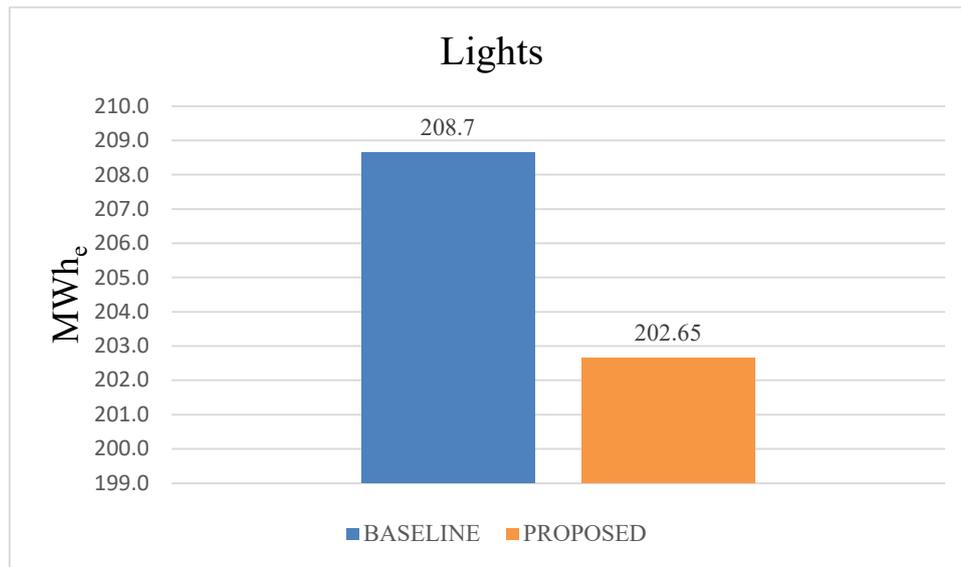


Fig58. Confronto consumi di illuminazione annuale.

La percentuale di miglioramento per questo servizio è pertanto pari al 3%. Di seguito si riportano i consumi per mese:

Date	BASELINE MWh <sub>e</sub>	BASELINE kWh <sub>e</sub> /m <sup>2</sup>	PROPOSED MWh <sub>e</sub>	PROPOSED kWh <sub>e</sub> /m <sup>2</sup>
Jan 01-31	17.87	1.54	17.23	1.49
Feb 01-28	17.18	1.48	16.32	1.41
Mar 01-31	18.31	1.58	17.58	1.52
Apr 01-30	16.49	1.42	16.27	1.41
May 01-31	16.13	1.39	16.24	1.40
Jun 01-30	15.85	1.37	15.89	1.37
Jul 01-31	16.59	1.43	16.54	1.43
Aug 01-31	16.91	1.46	16.72	1.44
Sep 01-30	17.35	1.50	16.78	1.45
Oct 01-31	18.01	1.56	17.45	1.51
Nov 01-30	18.86	1.63	17.71	1.53
Dec 01-31	19.09	1.65	17.91	1.55
Summed total	208.65	18.02	202.65	17.51

Tab19.Tabella confronto consumi di illuminazione per mese.

### 5.3 Consumi Elevators

Il consumo associato agli ascensori è calcolato, così come per i dispositivi elettrici, direttamente da normativa, pertanto è uguale per entrambi i modelli.

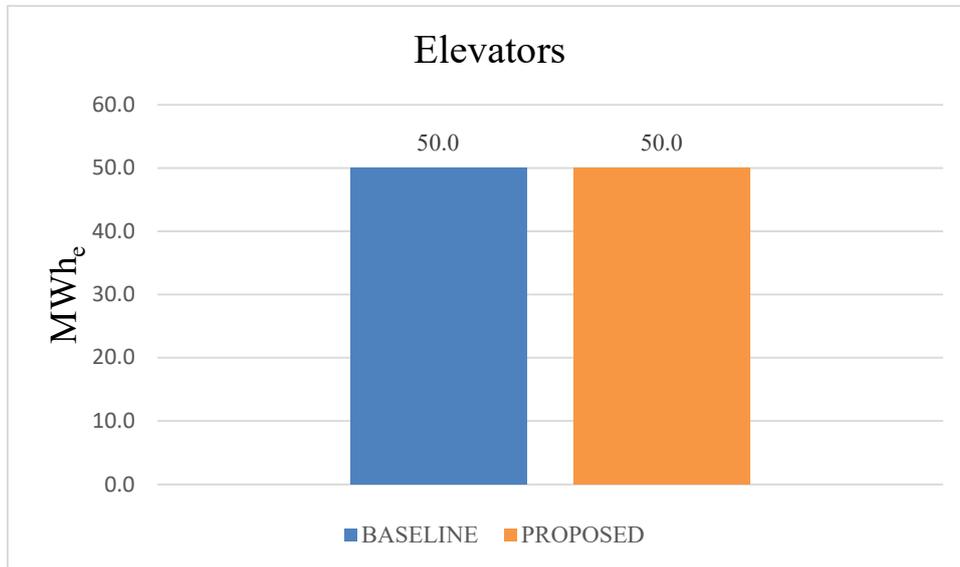


Fig59. Confronto consumi di equipment annuale.

La percentuale di miglioramento per questo servizio è pertanto pari allo 0%. Di seguito si riportano i consumi per mese:

Date	BASELINE MWh <sub>e</sub>	BASELINE kWh <sub>e</sub> /m <sup>2</sup>	PROPOSED MWh <sub>e</sub>	PROPOSED kWh <sub>e</sub> /m <sup>2</sup>
Jan 01-31	4.25	0.37	4.25	0.37
Feb 01-28	3.84	0.33	3.84	0.33
Mar 01-31	4.25	0.37	4.25	0.37
Apr 01-30	4.11	0.36	4.11	0.36
May 01-31	4.25	0.37	4.25	0.37
Jun 01-30	4.11	0.36	4.11	0.36
Jul 01-31	4.25	0.37	4.25	0.37
Aug 01-31	4.25	0.37	4.25	0.37
Sep 01-30	4.11	0.36	4.11	0.36
Oct 01-31	4.25	0.37	4.25	0.37
Nov 01-30	4.11	0.36	4.11	0.36
Dec 01-31	4.25	0.37	4.25	0.37
Summed total	50	4.32	50	4.32

Tab20. Tabella confronto consumi di equipment annuale.

## 5.4 Consumi Auxiliary system

I consumi derivanti dai dispositivi ausiliari sono dati dalla somma dei consumi derivanti da:

- Ventilatori;
- Pompe;
- Sistema di Heating rejection;

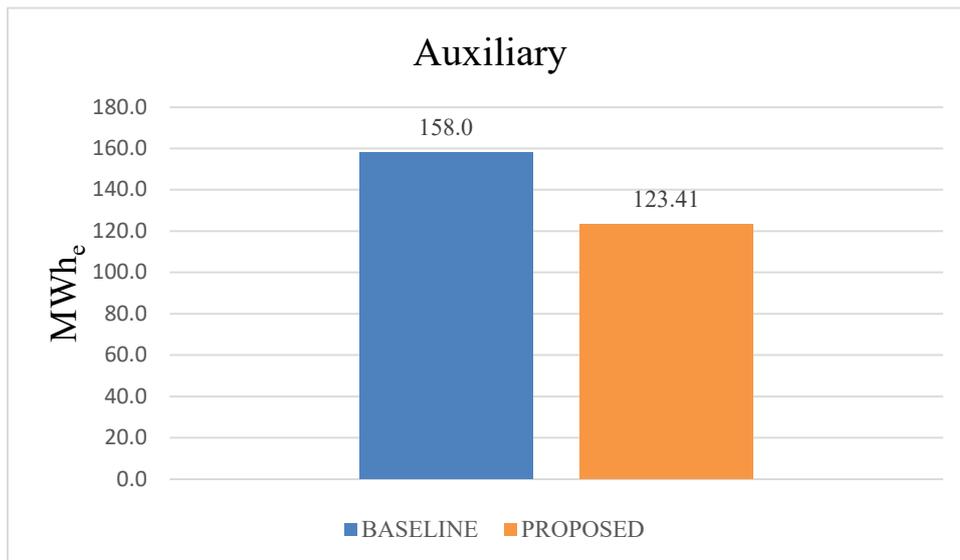


Fig60. Confronto consumi di Auxiliary annuali.

I consumi dei ventilatori, delle pompe e del sistema di heat rejection contribuiscono in maniera diversa alla definizione del carico di auxiliary dei due modelli.

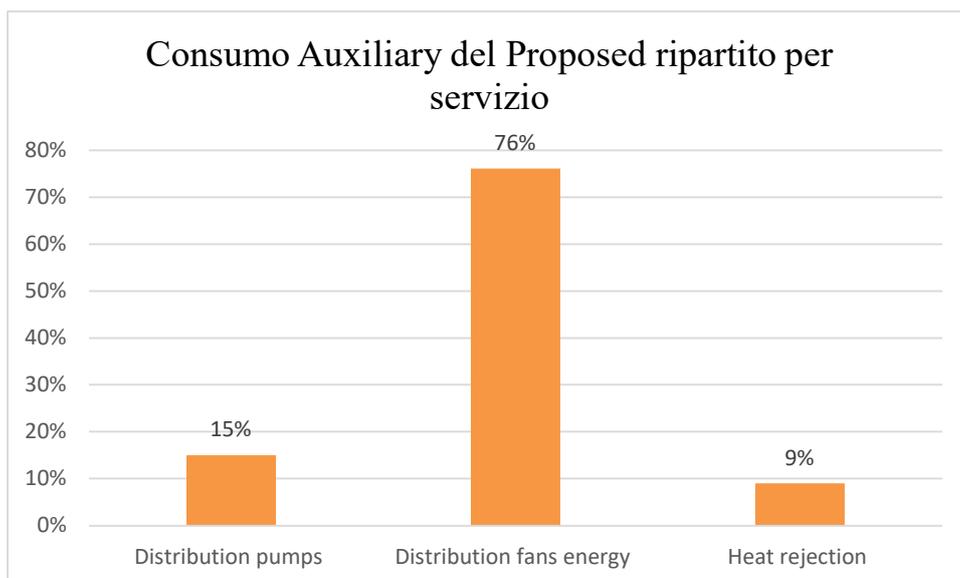


Fig61. Consumo Auxiliary Proposed ripartito tra i tre contributi.

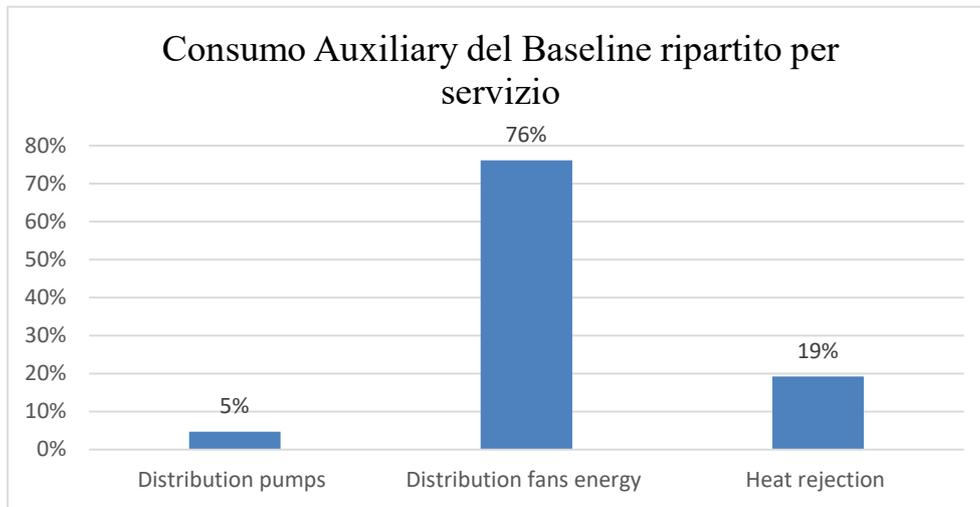


Fig62. Consumo Auxiliary Baseline ripartito tra i tre contributi.

La percentuale di consumo dell'heat rejection è maggiore nel Baseline a causa del sistema diverso sistema di raffreddamento che richiede più energia per disperdere il calore rispetto al sistema del Proposed. Viceversa nel Proposed incide maggiormente in percentuale il consumo delle pompe.

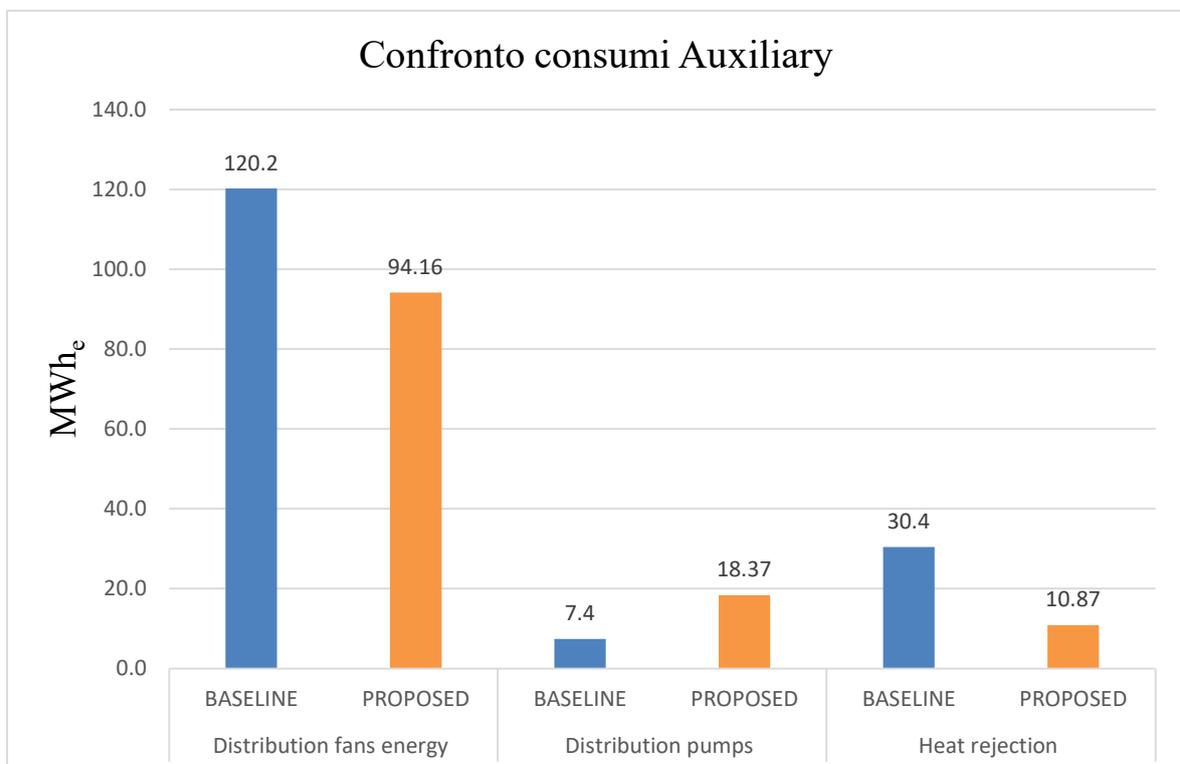


Fig63. Confronto consumo ausiliario annuale ripartito per servizio.

Per ciò che riguarda il consumo in senso assoluto, nel modello di Baseline i consumi legati ai ventilatori sono maggiori rispetto a quelli osservati nel Proposed, questo è legato alla differente efficienza degli stessi tra i due modelli.

Il consumo derivante dai sistemi di pompaggio del Proposed è più del doppio rispetto a quello del Baseline, ciò in ragione del fatto che nel Proposed abbiamo sistemi di pompaggio che servono la batteria fredda e calda delle UTA e tutti i fancoil presenti in ambiente; nel Baseline invece il sistema di pompaggio serve soltanto la batteria fredda dell'UTA.

La percentuale di miglioramento complessiva per questo servizio è pertanto pari al 22%.

Di seguito si riportano i consumi per mese:

Date	BASELINE MWh <sub>e</sub>	BASELINE kWh <sub>e</sub> /m <sup>2</sup>	PROPOSED MWh <sub>e</sub>	PROPOSED kWh <sub>e</sub> /m <sup>2</sup>
Jan 01-31	10.23	0.88	9.4	0.81
Feb 01-28	9.43	0.81	10.36	0.89
Mar 01-31	10.6	0.92	11.27	0.97
Apr 01-30	10.23	0.88	9.09	0.79
May 01-31	12.98	1.12	9.76	0.84
Jun 01-30	16.82	1.45	11.4	0.98
Jul 01-31	22.37	1.93	13.26	1.15
Aug 01-31	20.28	1.75	12.21	1.05
Sep 01-30	14.89	1.29	10.4	0.90
Oct 01-31	10.95	0.95	8.79	0.76
Nov 01-30	9.37	0.81	8.42	0.73
Dec 01-31	9.88	0.85	9.04	0.78
Summed total	158.01	13.65	123.41	10.66

Tab21. Tabella confronto consumi di auxiliary per mese.

## 5.5 Consumi Service Water Heating

Il sistema di produzione dell'acqua calda sanitaria è, in conformità a quanto previsto dalla normativa ASHRAE 90.1-2010, lo stesso per ambe due i modelli.

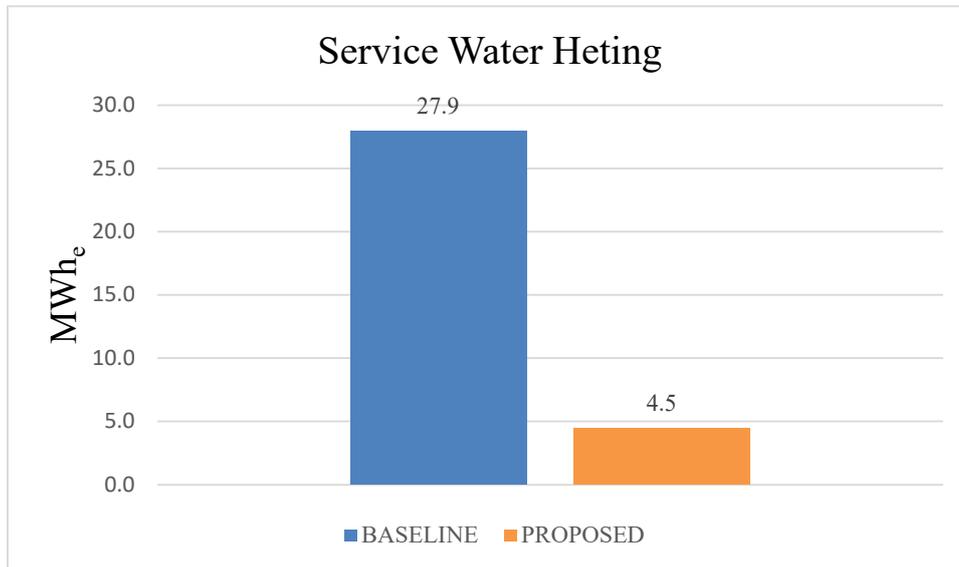


Fig64. Confronto consumi di Service Water Heating annuale.

La differenza di consumo è infatti legata alla diversa efficienza dei due sistemi, la percentuale di miglioramento per questo servizio è pertanto pari al 84%.

Di seguito si riportano i consumi per mese:

Date	BASELINE MWh <sub>e</sub>	BASELINE kWh <sub>e</sub> /m <sup>2</sup>	PROPOSED MWh <sub>e</sub>	PROPOSED kWh <sub>e</sub> /m <sup>2</sup>
Jan 01-31	4.81	0.42	0.77	0.07
Feb 01-28	4.76	0.41	0.76	0.07
Mar 01-31	3.84	0.33	0.61	0.05
Apr 01-30	2.01	0.17	0.32	0.03
May 01-31	0.78	0.07	0.13	0.01
Jun 01-30	0.85	0.07	0.14	0.01
Jul 01-31	1.18	0.10	0.19	0.02
Aug 01-31	0.98	0.08	0.16	0.01
Sep 01-30	0.62	0.05	0.1	0.01
Oct 01-31	1.45	0.13	0.23	0.02
Nov 01-30	2.73	0.24	0.44	0.04
Dec 01-31	3.88	0.34	0.62	0.05
Summed total	27.94	2.41	4.47	0.39

Tab22. Tabella confronto consumi di Service Water Heating per mese.

## 5.6 Consumi Cooling space

Gli impianti di raffrescamento apportano un notevole contributo al consumo complessivo dell'edificio. Il valore di consumo è dipendente sia dalla tipologia di impianto, che incide attraverso l'efficienza dei sistemi di generazione, distribuzione e emissione, sia dal carico termico estivo legato all'involucro.

Il carico termico è leggermente minore per il Proposed, ciò indica un migliore comportamento in regime estivo dell'involucro dell'edificio di progetto rispetto all'edificio di riferimento.

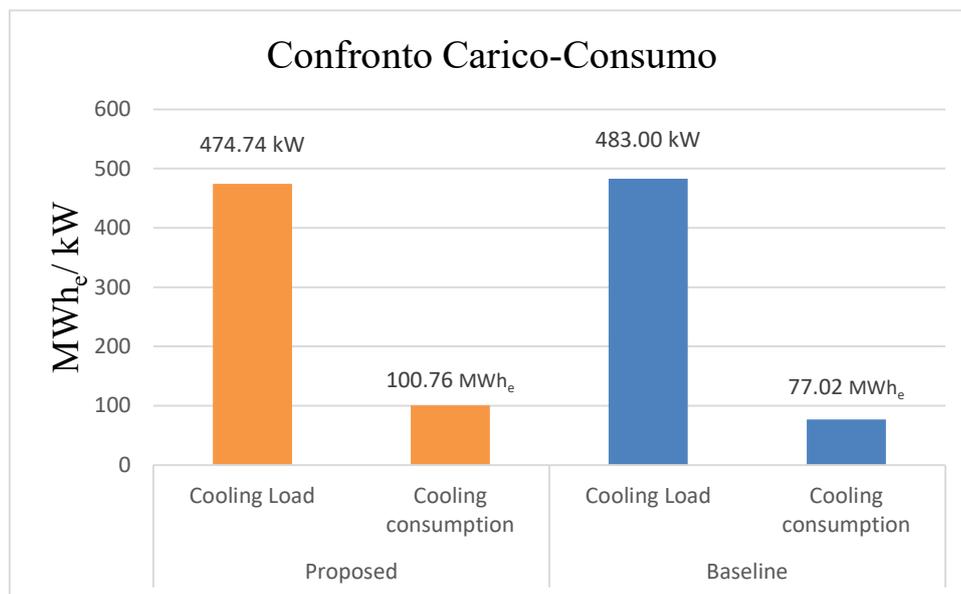


Fig65. Confronto carico consumi di Space Cooling annuale.

Per ciò che concerne i consumi, questi sono minori nel Baseline poiché l'efficienza dell'impianto costituito da un sistema chiller condensato a torre, è di gran lunga maggiore di quella dell'impianto del Proposed costituito da due pompe di calore aria acqua.

Questa differenza è ben visibile confrontando le curve di rendimento delle pompe di calore del Proposed raffigurate nelle immagini 47 e 49 del paragrafo 4.3.1. con la curva di rendimento del chiller modellato per il Baseline illustrata nell'immagine 55 del paragrafo 4.3.2.

Alla figura 66 si riporta un confronto tra il rendimento del chiller e quello dei due pompe di calore.

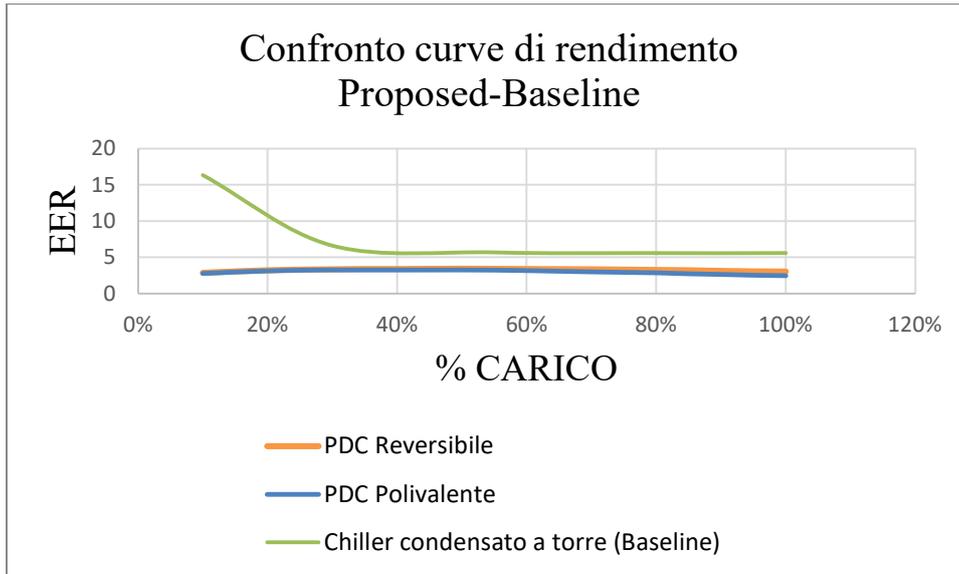


Fig66. Confronto curve di rendimento dei generatori di raffreddamento del Baseline e del Proposed.

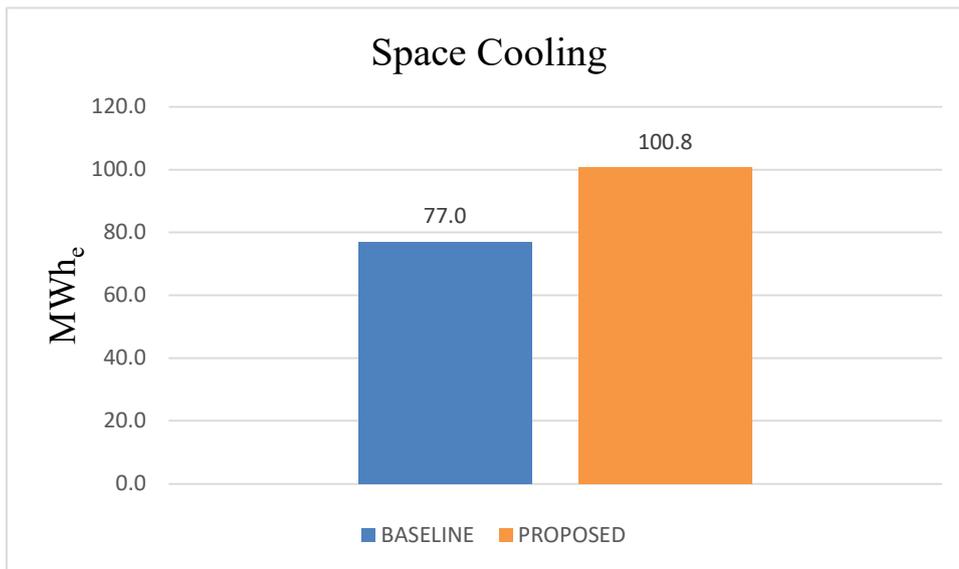


Fig67. Confronto consumi di space cooling annuale.

La percentuale di miglioramento per questo servizio è pertanto pari al -31%.

Di seguito si riportano i consumi per mese:

Date	BASELINE MWh <sub>e</sub>	BASELINE kWh <sub>e</sub> /m <sup>2</sup>	PROPOSED MWh <sub>e</sub>	PROPOSED kWh <sub>e</sub> /m <sup>2</sup>
Jan 01-31	0.04	0.00	0.30	0.03
Feb 01-28	0.04	0.00	0.68	0.06
Mar 01-31	0.39	0.03	2.98	0.26
Apr 01-30	1.04	0.09	4.03	0.35
May 01-31	5.44	0.47	9.61	0.83
Jun 01-30	16.63	1.44	18.77	1.62
Jul 01-31	23.07	1.99	26.25	2.27
Aug 01-31	18.63	1.61	20.90	1.81
Sep 01-30	9.98	0.86	11.57	1.00
Oct 01-31	1.60	0.14	4.20	0.36
Nov 01-30	0.11	0.01	1.27	0.11
Dec 01-31	0.04	0.00	0.20	0.02
Summed total	77.03	6.65	100.76	8.70

Tab23. Tabella confronto consumi di Space Cooling per mese.

## 5.7 Consumi Heating space

Il sistema di riscaldamento è quello più impattante sulla determinazione del punteggio del credito Optimize Energy Performance del presente caso studio.

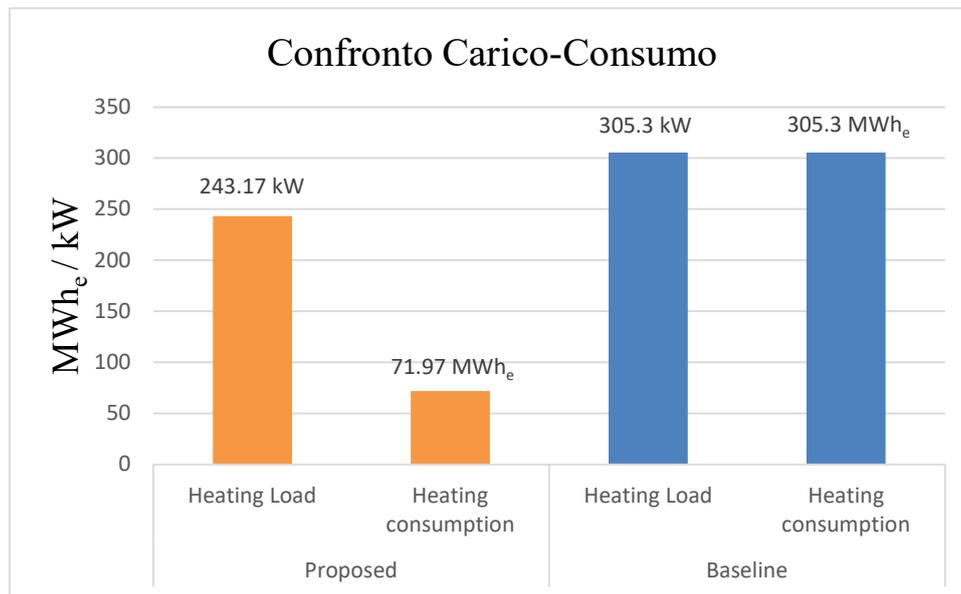


Fig68. Confronto carico-consumi di Space Heating annuale.

Il carico termico per riscaldamento dei due modelli differisce di circa il 20%, ciò suggerisce che l'involucro del modello di riferimento è meno performante rispetto a quello di progetto. Questa differenza è evidente dal confronto della trasmittanza delle pareti confinanti con l'esterno, la Umedia dell'involucro opaco verticale del Proposed infatti si attesta intorno a 0,25 W/m<sup>2</sup>K contro 0,36 W/m<sup>2</sup>K del Baseline.

Il carico termico diverso tuttavia contribuisce soltanto parzialmente alla differenza di consumo tra i due modelli. Il risparmio per questo servizio è pari al 76%, ipotizzando di applicare il carico del modello di Baseline all'impianto di riscaldamento del Proposed la differenza si ridurrebbe soltanto del 6%, si avrebbe dunque un risparmio del 70%.

Ciò suggerisce che il grosso del risparmio ottenuto è imputabile alla diversa efficienza dei sistemi di generazione del calore; infatti mentre nel Proposed è presente un impianto a pompe di calore con generatori che mostrano rendimenti maggiore di 3 per quasi tutte le percentuali di carico, come visibile nei grafici 48 e 50 del paragrafo 4.3.1., l'efficienza dell'impianto del Baseline è molto più bassa poiché ha come generazione resistenze elettriche ad effetto Joule.

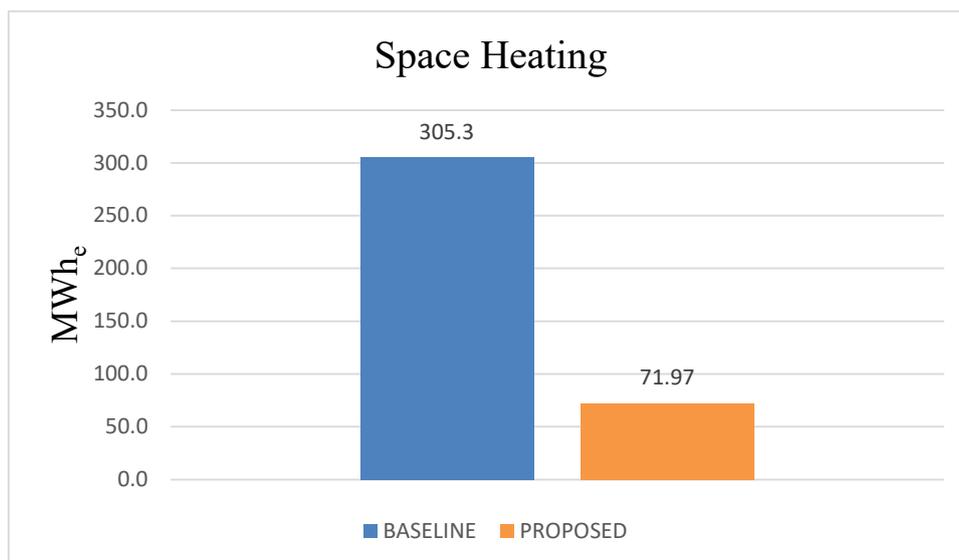


Fig69. Tabella confronto consumi di Space Heating annuale.

Di seguito si riportano i consumi per mese:

Date	BASELINE MWh <sub>e</sub>	BASELINE kWh <sub>e</sub> /m <sup>2</sup>	PROPOSED MWh <sub>e</sub>	PROPOSED kWh <sub>e</sub> /m <sup>2</sup>
Jan 01-31	82.72	7.15	12.4	1.07
Feb 01-28	63.40	5.48	12.27	1.06
Mar 01-31	24.36	2.10	9.9	0.86
Apr 01-30	13.14	1.14	5.19	0.45
May 01-31	2.54	0.22	2.02	0.17
Jun 01-30	1.49	0.13	2.2	0.19
Jul 01-31	1.94	0.17	3.06	0.26
Aug 01-31	1.93	0.17	2.53	0.22
Sep 01-30	2.51	0.22	1.61	0.14
Oct 01-31	7.54	0.65	3.75	0.32
Nov 01-30	35.46	3.06	7.06	0.61
Dec 01-31	68.17	5.89	10	0.86
Summed total	305.25	26.37	71.97	6.22

Tab24. Tabella confronto consumi di Space Heating per mese.

## 5.8 Risultato finale e Punteggio

Dalle analisi effettuate è possibile vedere come mostrato dai grafici 70 e 71 riportati di seguito, che la percentuale di consumo del singolo servizio sul consumo totale, è soggetta a grandi variazioni tra i due modelli per i servizi di riscaldamento e di equipment.

Per ciò che concerne gli equipment, questa differenza è legata al fatto che il consumo del servizio è il più alto nei due modelli, tuttavia il consumo complessivo per il modello di progetto è significativamente minore grazie ai risparmi ottenuti negli altri servizi.

Per ciò che riguarda il riscaldamento invece ad agire sulla differenza di incidenza del servizio sul totale, è l'elevato consumo di riscaldamento del modello Baseline rispetto al Proposed.

Di seguito si riportano i grafici raffiguranti la percentuale di incidenza dei singoli servizi sul consumo totale per ambe due i modelli:

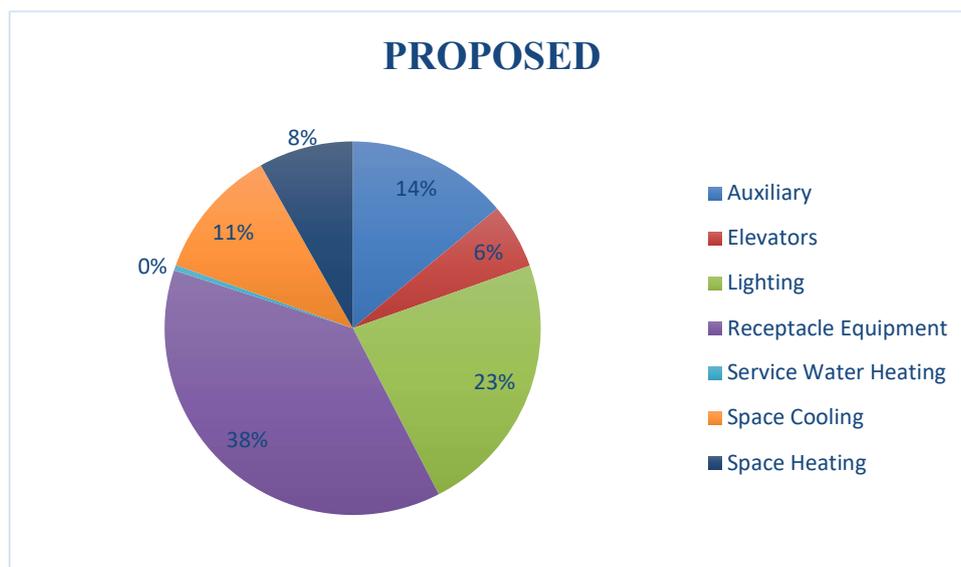


Fig70. Incidenza dei singoli servizi sul consumo totale per il modello Proposed.

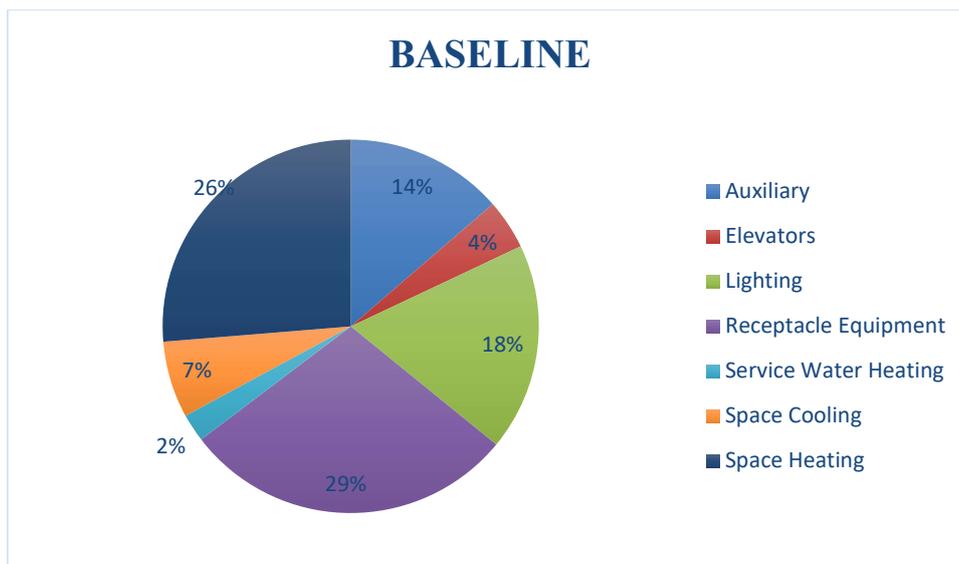


Fig71. Incidenza dei singoli servizi sul consumo totale per il modello Proposed.

Per determinare il punteggio del credito Optimize Energy Performance è necessario calcolare la differenza di consumo complessiva dei due modelli e sottrarre il quantitativo di energia prodotta dalle fonti di rinnovabile al Proposed. Successivamente per determinare il risparmio tra i due modelli si applica la formula riportata nell'introduzione a questo capitolo.

Di seguito si riporta una tabella raffigurante i consumi per ogni servizio e la percentuale di risparmio ottenuta sui singoli servizi, sul totale dei consumi e sul totale con il contributo delle fonti rinnovabili.

Service	PROPOSED MWh <sub>e</sub>	PROPOSED kWh <sub>e</sub> /m <sup>2</sup>	BASELINE MWh <sub>e</sub>	BASELINE kWh <sub>e</sub> /m <sup>2</sup>	PERCENT SAVINGS
Auxiliary	123.41	10.66	158.01	13.65	22%
Elevators	50	4.32	50.00	4.32	0%
Lighting	202.65	17.51	208.66	18.03	3%
Receptacle Equipment	333.1	28.78	333.10	28.78	0%
Service Water Heating	4.47	0.39	27.94	2.41	84%
Space Cooling	100.76	8.70	77.03	6.65	-31%
Space Heating	71.97	6.22	305.26	26.37	76%
Energy model subtotal	886.36	76.57	1159.99	100.21	24%
Photovoltaic System	36.6	3.16			
Totals	849.76	73.40	1156.69	99.92	27%

Tab25. Tabella per la determinazione del risparmio finale.

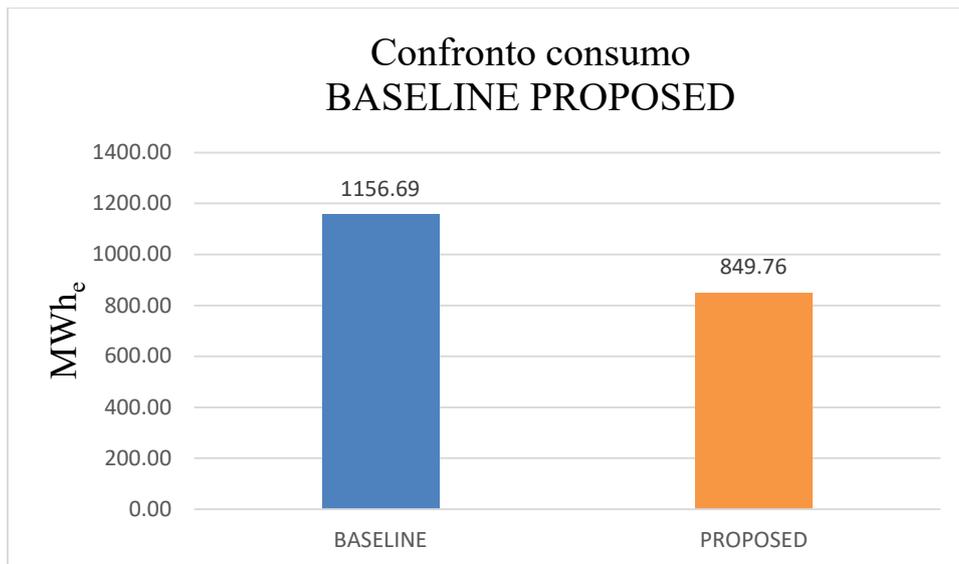


Fig72. Confronto consumo Baseline Proposed.

Il risparmio finale è pertanto pari al 27%, a questo risparmio si lega, secondo quanto previsto dal protocollo, un punteggio pari a 12 punti su 18 per la tipologia Core and Shell.

## 5.9 Strategie di miglioramento

Al fine di migliorare il punteggio ottenuto è possibile utilizzare singolarmente o combinare due differenti strategie:

1. Efficientamento dei servizi che mostrano una percentuale di risparmio negativa.
2. Integrazioni di ulteriori fonti di energia rinnovabile.

### 5.9.1 Efficientamento impianto di raffrescamento

Per ciò che riguarda l'efficientamento dei servizi con percentuale di risparmio negativa, in relazione ai risultati ottenuti è evidente l'esigenza di agire con strategie di miglioramento sul servizio di raffrescamento. Come descritto nel paragrafo 5.6, la differenza di consumo è legata alla differente tipologia impiantistica, è del tutto prevedibile infatti che il consumo di un impianto aria-acqua sia maggiore del consumo di un impianto con generatore acqua-acqua. Pertanto al fine di migliorare le prestazioni energetiche del servizio di raffrescamento per il modello Proposed si è scelto di sostituire l'impianto costituito dalle due pompe di calore aria-acqua con un impianto con chiller condensato a torre. Per la modellazione dell'impianto è stato scelto un generatore con potenza pari alla somma delle potenze delle due pompe di calore ed efficienza maggiore del generatore del Baseline del quale si riporta di seguito alla figura 73 la curva di rendimento.

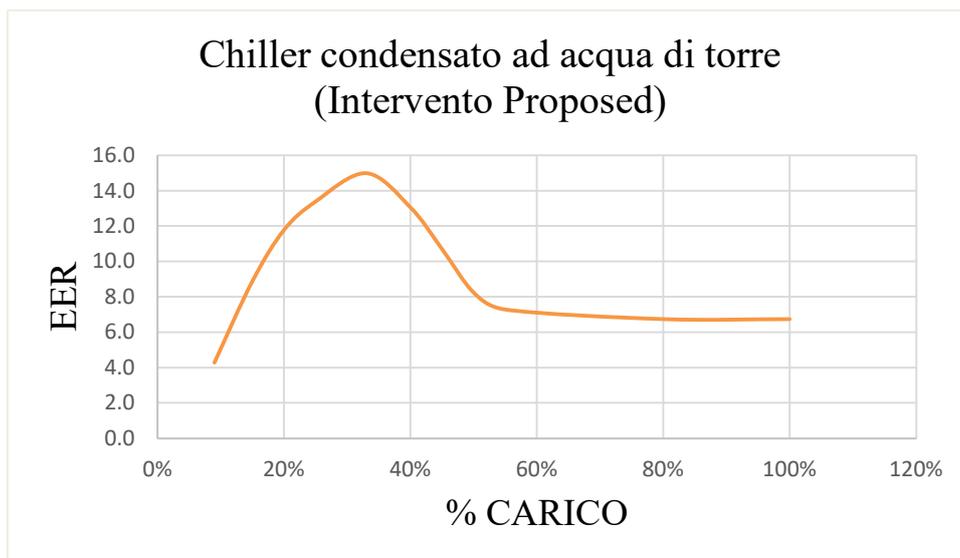


Fig73. Curva di rendimento in raffrescamento chiller post intervento.

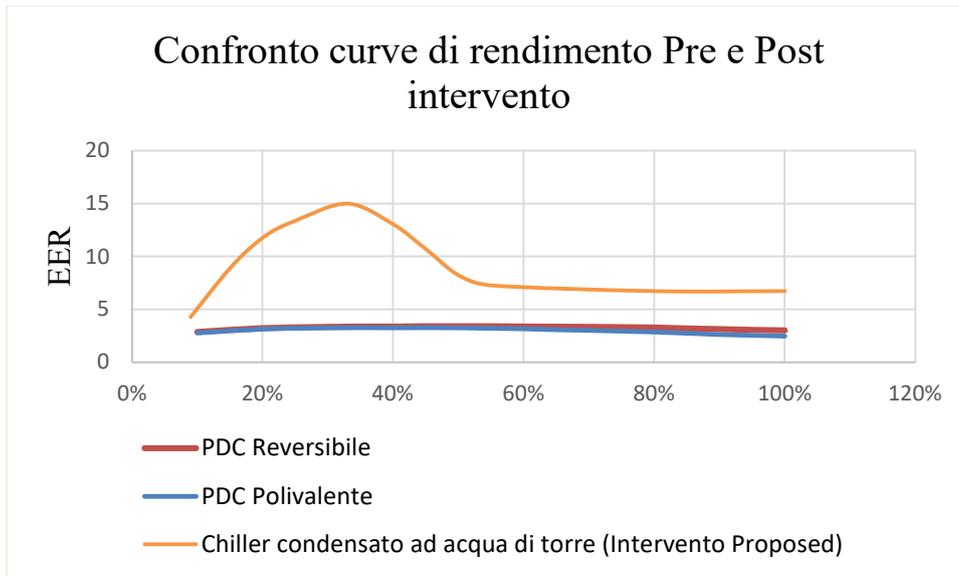


Fig74. Confronto curve di rendimento chiller post intervento e PDC di progetto.

La sostituzione dell'impianto ha ridotto il consumo legato all'impianto di raffrescamento del Proposed di circa il 68% portando la percentuale di risparmio dal -31% al 57%.

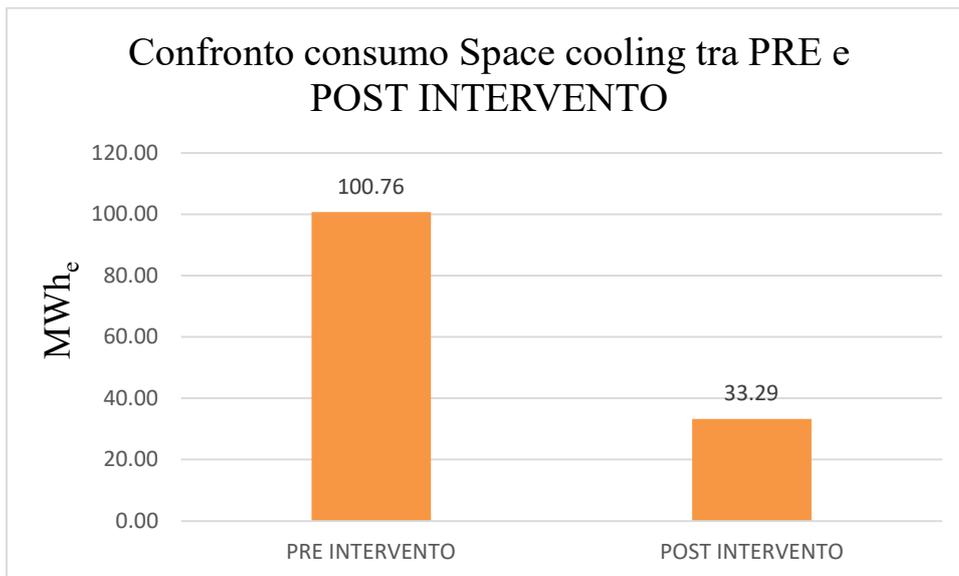


Fig75. Confronto consumo space cooling pre e post intervento.

Tuttavia sono aumentati del 21% i consumi legati agli ausiliari elettrici portando la percentuale di risparmio dal 22% al 5%.

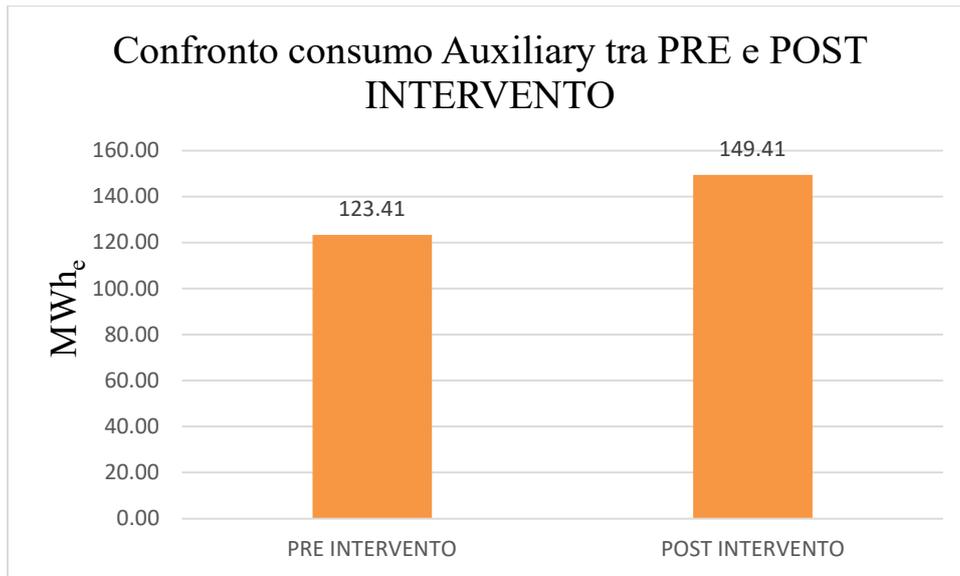


Fig76. Confronto consumo auxiliary pre e post intervento.

Di seguito si riportano le curve di rendimento del chiller del Baseline e del chiller utilizzato per l'intervento.

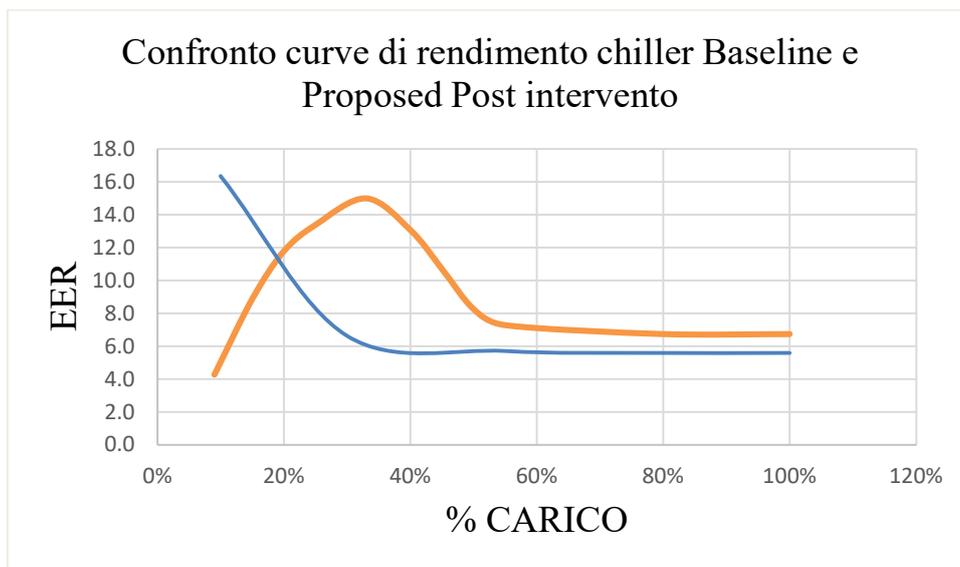


Fig77. Confronto consumo chiller Baseline con chiller Proposed post intervento.

Queste variazioni hanno comportato una riduzione complessiva dei consumi del 4,8% e un aumento della percentuale di risparmio dell'intero edificio rispetto al Baseline del 3%. La percentuale è così passata dal 27% al 30%; con questo dato il punteggio per il credito Optimize Energy performance diventa pari a 13. Di seguito si riporta il confronto tra i consumi di progetto con sostituzione dell'impianto e il Baseline.

Service	PROPOSE D MWh <sub>e</sub>	PROPOSE D kWh <sub>e</sub> /m <sup>2</sup>	BASELINE MWh <sub>e</sub>	BASELINE kWh <sub>e</sub> /m <sup>2</sup>	PERCENT SAVINGS
Auxiliary	149.41	12.91	158.01	13.65	5%
Elevators	50	4.32	50.00	4.32	0%
Lighting	202.65	17.51	208.66	18.03	3%
Receptacle Equipment	333.1	28.78	333.10	28.78	0%
Service Water Heating	4.47	0.39	27.94	2.41	84%
Space Cooling	33.29	2.88	77.03	6.65	57%
Space Heating	71.97	6.22	305.26	26.37	76%
Energy model subtotal	844.89	72.99	1159.99	100.21	27%
Photovoltaic System	36.6	3.16			
Totals	808.29	69.82	1156.69	99.92	30%

Tab26. Tabella per la determinazione del risparmio finale post intervento.

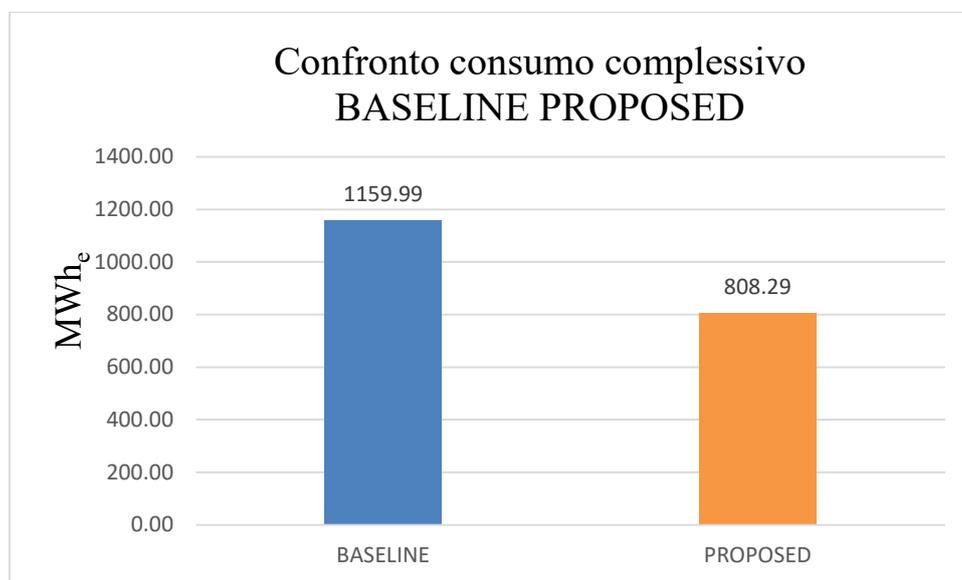


Fig78. Confronto consumo Baseline Proposed.

## 5.9.2 Integrazione impianto fotovoltaico

La seconda strategia riguarda l'incremento della produzione di energia rinnovabile, attualmente è previsto un impianto costituito da 84 moduli della grandezza di 1,6 mq che coprono 134 mq sui 791 disponibili, ovvero il 17 % della copertura.

Ogni modulo ha potenza di picco pari a 0,4 kW<sub>p</sub> pertanto la potenza complessiva dell'impianto è pari a 33,6 kW e la sua produzione è pari a 36,6 MWh annui.

Ipotizzando di sfruttare il 60% dello spazio disponibile per l'installazione dell'impianto fotovoltaico avremmo a disposizione 475 mq che corrispondono ad un impianto composto da 297 moduli con potenza di picco pari a 118.8 kW<sub>p</sub>.

Attraverso il software PVGIS, così come fatto per l'impianto di progetto, è stato determinato che la produzione annua di questo impianto sarebbe di 129.4 MWh.

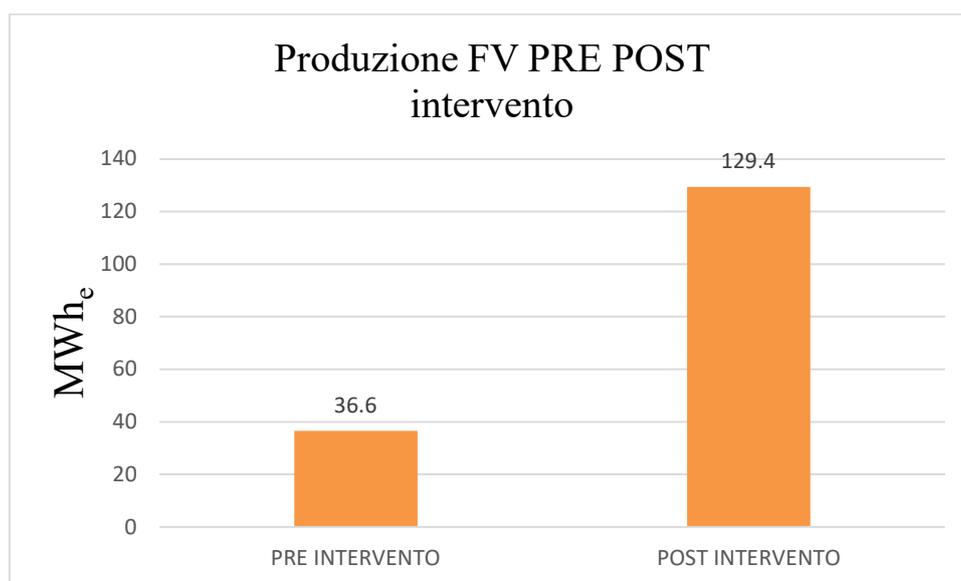


Fig79. Produzione energia elettrica da fotovoltaico pre e post intervento.

Service	PROPOSE D MWh <sub>e</sub>	PROPOSE D kWh <sub>e</sub> /m <sup>2</sup>	BASELINE MWh <sub>e</sub>	BASELINE kWh <sub>e</sub> /m <sup>2</sup>	PERCENT SAVINGS
Auxiliary	123.41	10.66	158.01	13.65	22%
Elevators	50	4.32	50.00	4.32	0%
Lighting	202.65	17.51	208.66	18.03	3%
Receptacle Equipment	333.1	28.78	333.10	28.78	0%
Service Water Heating	4.47	0.39	27.94	2.41	84%
Space Cooling	100.76	8.70	77.03	6.65	-31%
Space Heating	71.97	6.22	305.26	26.37	76%
Energy model subtotal	886.36	76.57	1159.99	100.21	24%
Photovoltaic System	129.4	11.18			
Totals	756.96	65.39	1156.69	99.92	35%

Tab27. Tabella per la determinazione del risparmio finale post intervento.

Con questo intervento avremmo un risparmio complessivo tra progetto e baseline pari al 35%, al quale è associato un punteggio di 15/18.

### 5.9.3 Combinazione dei due interventi

Utilizzando congiuntamente le due strategie otterremo un risparmio maggiore rispetto ai singoli interventi poiché le due strategie sono indipendenti e non interferiscono tra loro, pertanto per ottenere il risparmio complessivo è possibile effettuare la sovrapposizione degli effetti per determinare il risparmio finale, ovvero sottrarre all'intervento di efficientamento dell'impianto di raffrescamento l'incremento di produzione dell'impianto fotovoltaico. Di seguito si riporta la differenza di consumo tra lo stato di progetto pre e post intervento.

Service	PROPOSED MWh <sub>e</sub>	PROPOSED kWh <sub>e</sub> /m <sup>2</sup>	BASELINE MWh <sub>e</sub>	BASELINE kWh <sub>e</sub> /m <sup>2</sup>	PERCENT SAVINGS
Auxiliary	149.41	12.91	158.01	13.65	22%
Elevators	50	4.32	50.00	4.32	0%
Lighting	202.65	17.51	208.66	18.03	3%
Receptacle Equipment	333.1	28.78	333.10	28.78	0%
Service Water Heating	4.47	0.39	27.94	2.41	84%
Space Cooling	33.29	2.88	77.03	6.65	-31%
Space Heating	71.97	6.22	305.26	26.37	76%
Energy model subtotal	844.89	72.99	1159.99	100.21	24%
Photovoltaic System	129.4	11.18			
Totals	715.49	61.81	1156.69	99.92	38%

Tab28. Tabella per la determinazione del risparmio finale post intervento.

La combinazione dei due interventi porta a risparmio del 38% tra baseline e progetto, a questa percentuale corrisponde un punteggio di 16/18.

## 6 DISCUSSIONE

L'analisi teorica comparativa realizzata nei primi capitoli e l'analisi numerica effettuata sul caso studio, hanno condotto a numerose considerazioni circa ciò che costituisce un pregio e ciò che costituisce un difetto all'interno della sezione energia del protocollo.

In questo capitolo conclusivo si cercherà di evidenziare questi aspetti, al fine di suggerire l'integrazione di alcune strategie e la modifica di altre già presenti, con il fine ultimo di rilanciare il protocollo LEED non solo come strumento di certificazione della sostenibilità ambientale, ma anche e soprattutto come strumento grazie al quale è possibile progettare l'ambiente costruito del presente e del futuro in ottica della resilienza ai cambiamenti climatici.

### 6.1 Aspetti positivi

Il principale pregio della certificazione, nell'ottica del risparmio energetico, è legato alla tipologia di calcolo effettuata per la determinazione del risparmio tra edificio di progetto e edificio di riferimento.

Il protocollo infatti a differenza di altri standard di certificazione impone attraverso l'utilizzo della normativa ASHRAE, l'obbligo di effettuare una analisi dinamica, ciò consente di superare tutti i problemi correlati al calcolo semi-stazionario.

I vantaggi derivanti dall'utilizzo di questa tipologia di calcolo risiedono nella maggiore affidabilità dei risultati dovuta a:

- Un'analisi più realistica dei fabbisogni di riscaldamento e raffrescamento dell'edificio;
- La possibilità di realizzare uno studio delle potenze richieste dai diversi servizi di climatizzazione e quindi un'ottimizzazione del dimensionamento degli impianti termici;
- Il poter effettuare una valutazione dell'efficacia dei sistemi di controllo solare e del comportamento inerziale dell'involucro;

Inoltre è possibile valutare con più precisione le condizioni di comfort all'interno degli ambienti.

Questo livello di precisione non è infatti ottenibile con i protocolli che utilizzano analisi di tipo semi stazionario, in quanto la parziale valutazione dell'inerzia termica delle strutture risulta adatta per i climi freddi con preponderante carico termico invernale e per profili d'uso standard o continui, ma meno affidabile nei casi di forte carico estivo e per profili intermittenti.

Le condizioni estive sono infatti caratterizzate da forti variazioni orarie delle condizioni climatiche, legate principalmente all'irraggiamento solare, durante le quali il comfort interno è fortemente condizionato dagli effetti dell'inerzia termica dell'involucro.

La necessità di utilizzare uno strumento più preciso, che aiuti i professionisti a progettare sistemi edificio impianto più efficienti e meno impattanti per l'ambiente, congiunta alla necessità di condurre analisi su edifici con una pluralità di destinazioni d'uso, rende la modellazione dinamica l'unico strumento di diagnosi per progettare soluzioni valide alle sfide poste dai cambiamenti climatici.

Pertanto l'utilizzo di questo strumento, come unica possibilità di indagine, rende la certificazione LEED il protocollo più affidabile per il calcolo del risparmio energetico.

## **6.2 Aspetti negativi**

La simulazione energetica dinamica costituisce un pregio di notevole importanza per la certificazione, tuttavia ciò non basta per rispondere affermativamente, senza timore di smentita, alla domanda, "la certificazione LEED stimola la costruzione o ristrutturazione di un ambiente costruito efficiente in termini di risparmio energetico?".

Una risposta a questo interrogativo è stata data da uno studio condotto da Karen Clay, Edson Severnini e Xiaochen Sun. Il paper analizza i consumi energetici degli edifici di proprietà dello Stato federale americano certificati LEED tra il 1990 e il 2019. Dal documento si evince che, gli edifici certificati LEED non consumano meno degli edifici che non sono stati certificati. Gli autori suggeriscono che l'assenza di risparmio energetico è legata a tre fattori:

1. L'indipendenza della certificazione dall'ottenimento di un buon punteggio nel credito Optimize Energy performance.
2. Possibile cambio dell'uso dei sistemi energivori al termine del periodo di certificazione.
3. Possibile efficientamento energetico degli altri immobili presi in analisi.

Al fine di fornire ulteriori strumenti per decifrare l'assenza di risparmio, di seguito si riportano una serie di aspetti negativi legati alla sezione Energy and Atmosphere.

Il primo aspetto riguarda proprio la definizione del carico termico, nonostante il fatto che il tipo di modellazione costituisca uno strumento sofisticato, all'interno della normativa non viene affrontato l'annoso problema dei ponti termici con lo stesso rigore con il quale viene affrontato all'interno della normativa nazionale italiana.

Il secondo aspetto riguarda la mancata attenzione al concetto di resilienza, concetto già preso in debita considerazione in altri protocolli.

L'ultimo aspetto riguarda invece le procedure di calcolo del risparmio tra Baseline e Proposed ai fini dell'ottenimento del punteggio per il credito Optimize Energy Performance. La procedura nel caso di installazione di fonti rinnovabili favorisce il Proposed alternando la corretta stima di risparmio di emissioni derivanti dai due modelli.

## 6.2.1 I ponti termici

La norma UNI EN ISO 10211 definisce il ponte termico come:

“Parte dell’involucro edilizio dove la resistenza termica, altrove uniforme, cambia in modo significativo per effetto della compenetrazione totale o parziale di materiale con conduttività termica diversa nell’involucro edilizio, e/o della variazione dello spessore della costruzione, e/o della differenza tra le aree interna ed esterna, come avviene per esempio in corrispondenza delle giunzioni tra parete, pavimento e soffitto.”

La presenza di un ponte termico comporta conseguenze su due piani:

- Igrometrico
- Energetico

Dal punto di vista igrometrico la presenza del ponte termico causa un abbassamento della temperatura superficiale della parete, ciò fa aumentare il rischio di condensazione del vapore acqueo e di degrado dell’involucro per formazione di muffa. Questo avviene quando la temperatura superficiale dell’involucro interna è minore della temperatura di formazione della muffa detta temperatura critica.

Da un punto di vista energetico un ponte termico rappresenta un punto debole nell’involucro, ovvero un punto dal quale si ha una maggiore perdita di energia.

In corrispondenza di ponte termico di qualsiasi tipologia, si genera un flusso di calore aggiuntivo rispetto al flusso di calore principale che attraversa la struttura, che in inverno va dall’ambiente interno verso l’ambiente esterno. Questo fenomeno dunque contribuisce all’aumento di dispersione del calore al quale si associa un inevitabile aumento del carico termico in regime invernale.

Secondo quanto riportato dal rapporto del 2008 dell’ASIEPI (Assessment and Improvement of the EPBD Impact) l’impatto di ponti termici sulla richiesta di energia per riscaldamento totale può arrivare in particolari circostanze a raggiungere il 30 %, altre analisi condotte su diversi casi studio in Italia abbassano questa percentuale considerandola comunque superiore al 20%.

In virtù di tali considerazioni la valutazione dei ponti termici negli edifici, a seguito della norma UNI TS 11300-1:2014, non può essere effettuata con metodi approssimati o

aumenti percentuali, ma con analisi agli elementi finiti o attraverso l'uso di atlanti conformi alla UNI EN ISO 14683.

L'entra in vigore di queste norme congiunta con l'applicazione del DM 26/06/2015 fa sì che il tema dei ponti termici rientri in tutti i calcoli energetici necessari in caso di intervento sull'involucro di un edificio a tutti i livelli, dalla nuova costruzione all'isolamento anche di una sola parete.

Il DM 26/06/2015 riporta i requisiti minimi ad oggi in vigore per i vari ambiti di applicazione, che si possono dividere in due macrocategorie:

- Interventi globali: nuovo edificio, demolizione e ricostruzione, ristrutturazioni importanti di I livello Per questo tipo di interventi è richiesta la verifica degli indici di prestazione energetica  $EP_{H,nd}$ ,  $EPC_{nd}$ ,  $EP_{gl,tot}$  calcolati sull'intero l'edificio. I primi due riguardano solo il fabbisogno di involucro (invernale ed estivo) mentre il terzo tiene conto anche di tutti gli impianti a servizio dell'edificio. È inoltre richiesta la verifica di  $H'T$  (coefficiente medio globale di scambio termico) calcolato sull'intero edificio.
- Interventi parziali: ristrutturazione importante di II livello, riqualificazione energetica Per questi interventi l'oggetto del calcolo è la superficie oggetto di intervento. Viene richiesto il rispetto del limite di trasmittanza media (comprensiva di ponti termici) calcolato sulla superficie di intervento e del limite di  $H'T$  riferito alla stessa superficie.

Per tutti gli interventi è richiesta l'esecuzione delle verifiche termo-igrometriche, che richiedono la verifica dell'assenza di muffa sulla superficie e di condensazione interstiziale nelle strutture.

La severità con cui i testi normativi italiani affrontano l'argomento dei ponti termici è dovuta, come visto in precedenza al doppio effetto che essi hanno sull'ambiente costruito.

Pur tenendo in debita considerazione tutti gli effetti negativi correlati al problema igrometrico legato ai ponti termici, nell'ambito dell'efficienza energetica e della riduzione delle emissioni l'aspetto più significativo risulta essere l'errata valutazione del carico termico nel caso di errata valutazione del contributo dei ponti termici.

Considerare un contributo più basso di quello reale conduce il progettista ad ottenere un valore più basso del carico termico, per edifici di grandi dimensioni questo potrebbe

comportare un significativo sotto dimensionamento degli impianti e dunque una minore efficienza e maggiori consumi.

L'attenzione normativa a questa tematica negli USA è tuttavia arrivata in ritardo rispetto ai paesi membri dell'Unione Europea. La normativa ASHRAE ha per la prima volta dato peso al contributo dei ponti termici soltanto con l'addendum ANSI/ASHRAE/IES Addendum av to ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.1-2019 del giugno 2022, con questo documento si invitano i progettisti a calcolare i ponti termici con software agli elementi finiti oppure rimodulando la trasmittanza termica delle pareti utilizzando valori tabellari di  $\psi$  moltiplicati per la lunghezza del ponte termico oggetto di analisi. Questo addendum pertanto allinea la normativa americana alle normative europee, considerando in maniera puntuale il contributo dei ponti termici all'interno dei modelli di calcolo energetico.

Le versioni della normativa ASHRAE 90.1 del 2010 e del 2016 considerano in maniera del tutto marginale il contributo dei ponti termici non imponendo nessun tipo di calcolo. Legando le due versioni v4 e v4.1 alle versioni della ASHRAE sopracitate, la certificazione LEED all'interno delle procedure di calcolo per il risparmio energetico, perde questo significativo contributo al carico termico; ciò entra in contrasto con la rigidità imposta, all'interno del protocollo, per la determinazione dei carichi e dunque dei consumi dei modelli di riferimento e di progetto.

Al fine di evitare tale imprecisione sarebbe opportuno nel prossimo aggiornamento del protocollo allineare le strategie di modellazione dei ponti termici a quanto prescritto nell'addendum del giugno 2022.

Inoltre per incentivare i professionisti ad acquisire un adeguata conoscenza del fenomeno e nuove competenze in merito alle possibili strategie da adottare per correggere un ponte termico di una struttura esistente o per ridurre al minimo il contributo dei ponti termici nelle nuove costruzioni, si suggerisce di dare la possibilità, all'interno del sezione energia, di ottenere un punto extra se la modellazione di tutti i ponti termici del modello viene realizzata tramite programmi agli elementi finiti ed un alto punto extra se il contributo dei ponti termici sul carico termico rientra al di sotto di una certa percentuale.

## 6.2.2 LEED e resilienza

La resilienza ai cambiamenti climatici è oggi uno dei temi più discussi all'interno del mondo accademico e politico. L'obiettivo di divenire una società resiliente passa anche e soprattutto dalla resilienza energetica dell'ambiente costruito; ovvero della capacità degli edifici di adattarsi alle condizioni climatiche future.

Nel 2013 uno studio condotto dai Paesi membri dell'IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) ha prodotto un rapporto che definisce le basi scientifiche dei cambiamenti climatici, nel documento si evince che con una probabilità compresa tra il 95 e il 100%, le attività imputabili all'uomo, vale a dire emissioni di gas-serra, aerosol e cambi di uso del suolo, siano le cause principali del riscaldamento globale osservato dal 1950.

Nel corso dell'ultimo decennio sono stati molteplici gli studi realizzati per costruire dei modelli predittivi del clima, sulla base dello studio sopracitato è evidente la correlazione tra l'attività umana e i cambiamenti climatici, dunque è stato necessario correlare le possibili politiche di mitigazione delle emissioni di gas clima alternanti delle varie nazioni con i dati climatici futuri.

Al fine di valutare gli effetti di diversi tipi di differenti politiche di mitigazione sono stati ipotizzati diversi scenari futuri in base alla concentrazione di CO<sub>2</sub> presente in atmosfera. Di seguito si riporta un grafico che mostra l'andamento della concentrazione di gas in ppm in funzione dei diversi scenari di mitigazione.

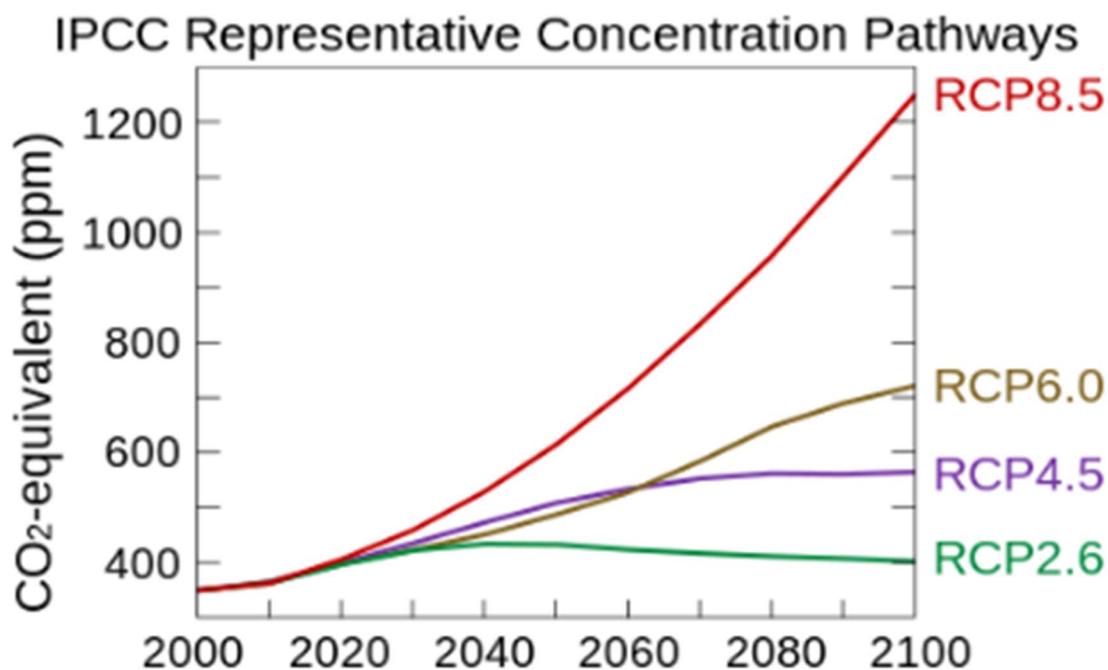


Fig80. Concentrazione di gas in ppm in funzione dei diversi scenari di mitigazione.

L'RCP ovvero il representative concentration pathway è legato per ogni scenario ad un diverso valore, tale numero rappresenta la forzante radiativa stimata nell'anno 2100; ovvero la variazione del flusso di energia nell'atmosfera causata da fattori naturali o antropogenici al cambiamento climatico misurata in Watt al metro quadro.

Questo valore indica che il bilancio energetico della terra è positivo; ovvero la terra riceve più energia dalle radiazioni solari di quanto sia in grado di smaltirne irradiandola nello spazio, ciò avviene a causa della concentrazione di gas in atmosfera che impedisce di irradiare energia all'esterno del sistema terra. Questo fenomeno causa dunque un innalzamento della temperatura del globo.

I quattro scenari presenti nel grafico sono:

- RCP2.6, è uno scenario nel quale si auspicano politiche di mitigazione delle emissioni aggressive da parte di tutti gli stati, grazie alle quale si otterrebbero due importanti risultati; emissioni 0 nell'anno 2100 e un contenimento dell'aumento della temperatura di qui fino a fine secolo entro i 2°C.
- RCP4.5, rappresenta un'alternativa intermedia tra lo scenario di mitigazione aggressiva e gli scenari che prevedono un aumento delle emissioni anche per i prossimi decenni. Secondo molti analisti del settore infatti una riduzione significativa delle emissioni avverrà nei prossimi decenni anche in regione del lento ma inesorabile esaurimento delle riserve di combustili fossili, il cui utilizzo

contribuisce in maniera sostanziale all'emissioni di CO2 equivalente. Secondo i modelli realizzati con questo pathway le emissioni raggiungeranno il picco nell'anno 2040 per poi iniziare a decrescere. Questo scenario viene spesso considerato uno dei più plausibili, tuttavia gli effetti che esso produrrebbe sul clima e sulla vita sarebbero non poco significativi, si stima infatti un aumento della temperatura media della terra compreso tra i 2 e i 3 °C oltre ad un innalzamento del livello del mare maggiore del 35% rispetto a quello previsto dallo scenario RCP 2.6, ciò causerebbe l'estinzione di diverse specie animali e vegetali.

- RCP6, secondo questo scenario le emissioni raggiungeranno il picco nel 2080 per poi diminuire successivamente, l'aumento di temperatura associato a questa previsione è compreso tra i 3 e i 4 °C entro il 2100.
- RCP8.5, è il peggiore degli scenari nel quale non si prevede una riduzione delle emissioni ma al contrario un costante aumento, questo comporterebbe un aumento delle temperature fino a 4,8 °C.

Questi studi suggeriscono che in qualsiasi scenario futuro avremo un aumento significativo della temperatura media della terra, ciò comporterà inevitabilmente un'alterazione di tutti i dati climatici; sulla base di ciò è lecito pensare che al fine di verificare se quanto costruito oggi sarà sostenibile anche nel futuro, è necessario effettuare valutazioni con i dati climatici futuri.

Attraverso analisi che valutano l'efficienza del sistema involucro-impianto secondo gli scenari futuri potremmo prevedere i problemi che avranno i nostri edifici per gli anni avvenire, ciò ci consentirebbe già in fase di progetto di improntare soluzioni a questi problemi facendo sì che i nostri edifici siano efficienti e sostenibili tra diverse decadi così come lo sono oggi; questo ci consentirebbe di progettare un patrimonio costruito resiliente in grado di rispondere alla sfida lanciata dai cambiamenti climatici.

In quest'ottica uno dei principali competitors del protocollo LEED ovvero il BREEAM ha già intrapreso, attraverso l'integrazione all'interno del proprio protocollo di crediti mirati alla valutazione del comfort con gli scenari futuri, la strada verso la progettazione di uno standard che pensi alla sostenibilità immediata dell'ambiente costruito senza trascurare l'esigenza di improntare soluzioni finalizzate alla resilienza ai cambiamenti climatici.

Questo aspetto costituisce invece un elemento di debolezza del protocollo LEED che nella sua ultima versione datata 2016 non ha preso in considerazione questa problematica.

Considerazioni analoghe sono state mosse in un elaborato di Procedia Engineering che oltre a invitare il protocollo a promuovere analisi dei consumi con i dati climatici futuri, ha sottolineato come sia necessario progettare misure di water saving utilizzando le proiezioni di precipitazioni future.

Al fine di indirizzare il progettista verso una modellazione resiliente, si suggerisce di introdurre dei crediti mirati alla valutazione della differenza di consumo tra i modelli Proposed e Baseline calcolati con dati climatici riferiti agli scenari futuri RCP4.5 e RCP6.0, ovvero quelli ritenuti più plausibili dalla comunità scientifica.

### **6.2.3 Il ruolo delle rinnovabili nel Baseline**

Il credito Optimize Energy Performance si pone l'obiettivo di indirizzare la progettazione verso la realizzazione di un edificio molto più performante, sia per ciò che concerne l'involucro sia per ciò che concerne gli impianti, rispetto ad un edificio di medie prestazioni. Come visto nel presente elaborato al fine rendere questa tematica centrale all'interno del protocollo è stato assegnato al credito Optimize Energy Performance un numero di punti ottenibili maggiore rispetto a tutti gli altri crediti. Questo aspetto dovrebbe costituire un importante incentivo per i costruttori a realizzare un edificio sostenibile ed all'avanguardia.

Tuttavia le modalità di determinazione dei consumi del modello di Baseline, forniscono un importante strumento al progettista per ottenere un ottimo punteggio al credito senza badare troppo all'efficienza dell'involucro e degli impianti.

Questo avviene perché l'edificio di Baseline è caratterizzato dall'assenza di impianti di produzione di energia rinnovabili, pertanto mentre dai consumi di energia effettivi legati agli impianti del Proposed viene decurtata la percentuale prodotta dagli impianti rinnovabili se presenti; l'ammontare di consumi legati al Baseline rimane invariata.

Inoltre la normativa non vincola il progettista ad associare il consumo orario di energia elettrica alla produzione oraria di energia elettrica da fotovoltaico, gli impianti di energia e l'impianto fotovoltaico non sono dunque in fase. Questo consente di decurtare dall'ammontare dei consumi annuali calcolati su base oraria il quantitativo di energia elettrica prodotta da fotovoltaico durante tutto l'anno.

Tale procedura crea un importante squilibrio nell'ottica di un confronto tra i consumi dei due edifici, è possibile infatti giungere al paradosso di avere un edificio di progetto che consuma di più rispetto all'edificio di riferimento ed ottenere comunque il massimo dei punti coprendo i consumi dell'edificio di progetto interamente con la produzione di energia rinnovabile.

Questa procedura pur muovendosi nella direzione di riduzione delle emissioni non spinge il progettista verso la realizzazione di un sistema involucro impianto efficiente che consumi il meno possibile.

Contrariamente a quanto stabilito dal protocollo LEED, tutte le certificazioni che seguono la normativa italiana non sono affetti da questo problema, l'allegato A del DM 26/06/2015 che definisce i criteri per la determinazione dell'edificio di riferimento infatti recita:

“L'edificio di riferimento si considera dotato degli stessi impianti di produzione di energia dell'edificio reale.”

È pertanto auspicabile che la realizzazione del modello del Baseline all'interno del protocollo segua l'esempio della normativa italiana, ciò consentirebbe di dare vita alla definizione di un credito che tiene conto tanto della diminuzione delle emissioni quanto della riduzione dei consumi.

Pertanto si suggerisce di servire l'edificio di Baseline con un impianto fotovoltaico che abbia almeno la metà della potenza di picco rispetto al Proposed e pari efficienza. Inoltre al fine di perfezionare il calcolo delle emissioni, sarebbe opportuno obbligare il progettista a valutare il consumo orario legato a tutti i servizi, in fase rispetto alla produzione fotovoltaica oraria.

## CONCLUSIONI

Il lavoro svolto, ha permesso di mettere in evidenza il valore che la sezione Energy and Atmosphere apporta al protocollo LEED, non solo in termini di punteggio finalizzato all'ottenimento della certificazione, ma anche e soprattutto, in termini di innovazione nell'ambito della modellazione energetica finalizzata alla valutazione dei consumi legati all'ambiente costruito. Tuttavia nel presente elaborato attraverso l'analisi del caso studio e l'approfondimento teorico successivo, sono stati evidenziati molti aspetti nei quali la sezione Energy and Atmosphere risulta carente, ovvero tutti gli aspetti negativi discussi nel capitolo precedente. Sia dall'analisi sul caso studio che dall'analisi teorica, è possibile evincere una significativa imprecisione in merito alla determinazione del carico termico e dei consumi dell'edificio, a causa dell'errata considerazione dei ponti termici e del contributo delle fonti rinnovabili. Gli altri innumerevoli aspetti che concorrono alla definizione di un modello energetico stabile ed affidabile, risultano invece essere trattati in maniera particolarmente precisa e puntuale.

In ragione di queste considerazioni è possibile asserire che trovando risposte efficaci ai problemi descritti al capitolo precedente, la certificazione LEED porterebbe alla definizione di progetti di efficientamento energetico, basati su modelli estremamente precisi ed affidabili, in grado di condurre i progettisti verso la realizzazione di un ambiente costruito estremamente sostenibile e resiliente.

## Bibliografia

1. Normativa ASHRAE 90-1 del 2010.
2. Manuale LEED
3. Manuale BREEAM
4. MANUALE ITACA
5. Rossana Paparella, Mauro Caini - Comparison among environmental certification systems. Relationships between systems and project. Case study: the recovery of Arsa - Valori e Valutazioni 2016
6. F. Asdrubali, G. Baldinelli, F. Bianchi, S. Sambuco - A comparison between environmental sustainability rating systems LEED and ITACA for residential buildings - Building and Environment Volume 86, April 2015, Pages 98-108
7. M. Pieve, F. D'Annibale, L. Simonetti, R. Trinchieri - Validazione di modello Grey-Box di simulazione dinamica degli edifici - ENEA Report RdS/PTR(2021)/340. 2021
8. Jeroen Van der Veken, Dirk Saelens, Griet Verbeeck Hugo Hens - Comparison of Steady-State and Dynamic Building Energy Simulation Programs – Engineering 2004
9. Ruveyda Komurlu , David Arditi , Asli Pelin Gurgun - Applicability of LEED's energy and atmosphere category in three developing countries - Energy and Buildings Volume 84, December 2014, Pages 690-697.
10. Asli Pelin Gurgun, Gul Polat, Atilla Damci, Hasan Gokberk Bayhan - Performance of LEED Energy Credit Requirements in European Countries - Procedia Engineering Volume 164, 2016, Pages 432-438
11. Antonino De Pasquale- Benchmark di consumo energetico degli edifici per uffici in Italia - ENEA laboratorio DUEE-SPS-ESE (Domenico Santino, Fabrizio Martini, Silvia Ferrari) 2019
12. Nguyen, Binh, Altan, Haşim - Comparative Review of Five Sustainable Rating Systems - Procedia Engineering 2011
13. Hirigoyen J, Ratcliffe S, Davey-Attlee F - Green building rating systems: going beyond the labels - Jones Lang LaSalle 2008
14. Rolandas Drejeris, Arnas Kavolynas - Multi-criteria Evaluation of Building Sustainability Behavior, Procedia - Social and Behavioral Sciences 2014

15. DatTien, Ali Ghaffarianhoseini, Nicola Naismith, Tongrui Zhang, Amirhosein Ghaffarianhoseini, John Tookey - A critical comparison of green building rating systems, Buildings and environment 2017
16. OZGE SUZER - Analyzing the compliance and correlation of LEED and BREEAM by conducting a criteria-based comparative analysis and evaluating dual-certified projects - Building and Environment 2019,
17. IES Virtual Environment User Guides
18. Yair Schwartz, Rokia Raslan - Variations in results of building energy simulation tools, and their impact on BREEAM and LEED ratings: A case study, Energy and Buildings 2013 Variations in results of building energy simulation tools, and their impact on BREEAM and LEED ratings: A case study - ScienceDirect
19. Shaimaa Seyam- Types of HVAC Systems - HVAC System 2018
20. Karen Clay, Edson Severnini, Xiaochen Sun - Does LEED certification save energy? Evidence from retrofitted federal building - Journal of Environmental Economics and Management 2023
21. Sasquia H. Obata, Feni Agostinho Cecília, Almeida Biagio F. Giannetti - LEED certification as booster for sustainable buildings: Insights for a Brazilian context, Resources - Conservation and Recycling Volume 145, June 2019, Pages 170-178
22. S. Pili, F. Poggi, E. Loria, C. Frau - Studio sulla riqualificazione a nZEB degli edifici pubblici storici costituenti l'area Grande Miniera di Serbariu: Modello dinamico (ISO EN 52016) basato sulla caratterizzazione del sistema edificio – impianto tramite misure in opera e di laboratorio - ENEA Report RdS/PAR2018/063 2019
23. Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings, ANSI/ASHRAE/IES Addendum av to ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.1-2019
24. Fuad Baba - Dynamic Effect of Thermal Bridges on the Energy Performance of Residential Buildings, A Thesis in The Department of Building, Civil, and Environmental Engineering Presented in Partial Fulfillment of the Requirements - For the Degree of Master of Applied Science (Building Engineering) at Concordia University Montréal, Québec, Canada 2015
25. Manuale Anit- LA CORREZIONE DEL PONTE TERMICO STRUTTURALE - aprile 2023.

26. Antonio Cottone, Basirico Tiziana - modellazione numerica del ponte termico tra parete in conglomerato cementizio armato e solaio di interpiano - Conference: new horizons for sustainable architecture - nuovi orizzonti per l'architettura sostenibile 2020
27. Gianmaria Sannino - Energia e cambiamento climatico - Focus enea Energia, ambiente e innovazione | 2/2019
28. Decreto interministeriale 26 giugno 2015 - Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici, Allegato A.
29. Livio De santoli, Francesco Mancini - Progettazione degli impianti di climatizzazione - di Maggioli Editore 2022.
30. Cassandra L. Champagne, Can B. Aktas - Assessing the Resilience of LEED Certified Green Buildings- Procedia Engineering 2016.