

POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale in
Ingegneria Energetica e Nucleare

Tesi di Laurea Magistrale

***Simulazione dinamica del sistema edificio-impianto di una
palazzina uffici ai fini della certificazione LEED***



Relatore:

Prof. Marco Carlo Masoero

Candidato:

Marta Gianella

Correlatore:

Ing. Laura Rietto

Anno Accademico 2019/2020

A papà,
perché sei e sarai sempre
ciò che mi spinge a dare il meglio di me.

Ringraziamenti

Desidero ringraziare il Professor Ing. Marco Carlo Masoero e gli Ingegneri Bruno Sicca e Piero Neira per avermi concesso la possibilità di svolgere il lavoro di tesi presso lo studio S.P.E. Divisione Clima, al cui team va la mia gratitudine.

Ringrazio l'Ingegnere Laura Rietto per la disponibilità e la cortesia dimostratami durante lo svolgimento della tesi, la sua competenza è stata fondamentale.

Un grazie speciale a Tito, che mi ha sempre supportato e aiutato con pazienza, rimanendomi vicino nei momenti di gioia e di difficoltà.

Un ringraziamento ai miei compagni di studi e agli amici di Frassinetto, che con la loro spensieratezza mi hanno aiutato a superare i momenti più difficili.

Un ringraziamento particolare va ai miei familiari che mi hanno sempre sostenuto durante tutto il percorso di studio, riponendo una grande fiducia in me. Un grazie a mia mamma che nonostante tutto quello che abbiamo passato è riuscita a darmi la forza per arrivare fino a qui.

Un pensiero speciale va a mio padre Roberto che dal cielo sicuramente starà festeggiando, orgoglioso dell'obiettivo che ho raggiunto. A te, che hai sempre gioito di ogni mia piccola vittoria, che hai sempre creduto in me e mi hai insegnato a vedere il lato positivo della vita in ogni momento, dedico questo mio traguardo.

Abstract

Questa tesi tratta la simulazione dinamica del sistema edificio-impianto di uno stabile adibito ad uso uffici, situato a Collegno (Torino), che viene analizzato come nuova costruzione ai fini della certificazione LEED Building Design + Construction.

La tesi colloca i Green Buildings e il sistema di classificazione LEED nell'ambito della sostenibilità e in particolare negli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile (Sustainable Development Goals, SDGs) definiti nell'Agenda 2030, evidenziando come l'edilizia sostenibile possa influire notevolmente su alcuni degli SDGs. Verrà presentata la certificazione energetico-ambientale LEED, le categorie e i crediti in cui è suddivisa. Si procederà con l'analisi del caso studio e la valutazione di alcuni crediti LEED BD+C per nuova costruzione, nelle categorie "Energy and Atmosphere" (EA) e "Indoor Environmental Quality" (EQ), che si occupano rispettivamente di promuovere elevate prestazioni energetiche degli edifici e di garantire un'elevata qualità dell'ambiente interno.

In particolare, verranno trattati il prerequisito "Minimum Energy Performance" e verrà quantificato il punteggio ottenibile dal credito "Optimize Energy Performance", appartenenti alla categoria "Energy and Atmosphere" del sistema LEED. Per la valutazione di entrambi si è optato per la simulazione dinamica dell'intero edificio secondo quanto indicato nel protocollo LEED "Reference Guide for Building Design and Construction v4" (USGBC), utilizzando il Performance Rating Method descritto nell'appendice G dello standard ASHRAE 90.1-2010. Il metodo si basa sulla costruzione di un modello per l'edificio di progetto reale con il proprio impianto HVAC e di un modello per il Baseline Building, ossia l'edificio di riferimento modellato seguendo quanto indicato nell'appendice G della suddetta norma. La simulazione dei due edifici verrà effettuata utilizzando il software di simulazione dinamica Design Builder che ha come motore di calcolo Energy Plus. Al termine della modellazione sarà possibile evidenziare un notevole risparmio dei consumi dell'edificio di progetto rispetto a quello di riferimento, con la conseguente determinazione del punteggio legato al credito "Optimize Energy Performance". Sarà inoltre possibile valutare il credito "Renewable Energy Production" (EA) che premia l'utilizzo di fonti rinnovabili.

Si procederà con la valutazione dei crediti "Thermal Comfort" e "Daylight", appartenenti alla categoria EQ, legati al benessere degli occupanti. Per il soddisfacimento del credito "Thermal Comfort" sarà necessario effettuare una simulazione dell'edificio in modo tale da ottenere i valori degli indici di comfort termico di Fanger PMV (Predicted Mean Vote) e PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied) e di verificare se rientrano nei limiti definiti della norma UNI EN ISO 7730-2006. Per la valutazione del credito "Daylight", legato alla presenza di luce naturale nell'ambiente regolarmente occupato che garantisce un miglior benessere degli occupanti e quindi una maggiore

produttività, sarà necessario effettuare una simulazione dinamica dell'edificio per verificare la qualità della luce diurna che penetra nell'ambiente interno, valutando i valori di illuminamento naturale all'altezza del piano di lavoro. Infine, si procederà con un'analisi complessiva dei risultati ottenuti evidenziando come le scelte progettuali e impiantistiche effettuate abbiano inciso sulla valutazione dei diversi crediti.

Indice

Ringraziamenti	I
Abstract	II
Indice delle figure	VI
Indice delle tabelle	VIII
1. Sostenibilità e Agenda 2030	1
1.1 Green Buildings	6
1.1.1 Green Buildings e SDGs	7
2. Il sistema di classificazione LEED	10
2.1 Certificazioni energetico-ambientali nel mondo	11
2.1.1 LEED in Italia	12
2.2 Benefici LEED	15
2.3 Protocollo LEED v4	17
2.3.1 Struttura del sistema di classificazione	18
2.4 Il processo di certificazione	21
3. I crediti analizzati	23
3.1 Energy and Atmosphere (EA)	23
3.1.1 Prerequisito 2: Minimum Energy Performance	25
3.1.2 Credito EA: Optimize Energy Performance	26
3.1.3 Credito EA: Renewable Energy Production	28
3.2 Indoor Environmental Quality (EQ)	29
3.2.1 Credito EQ: Thermal Comfort	29
3.2.2 Credito EQ: Daylight	31
3.3 Standard di riferimento	32
3.3.1 ANSI/ASHRAE/IES 90.1-2010	32
3.3.2 UNI EN ISO 7730:2006	33
4. Caso studio	34
4.1 Struttura e condizioni di progetto	36
4.2 Carichi interni	38
4.3 Suddivisione in zone termiche e impianto HVAC	39
4.3.1 Riscaldamento e raffrescamento	39
4.3.2 Ventilazione	42
4.3.3 ACS	44
4.3.4 Analisi preliminare: simulazione su EdilClima	44
5. Simulazione dinamica dell'edificio	48
5.1 Software per la simulazione dinamica: Energy Plus e Design Builder	49

5.2 Proposed Building	51
5.2.1 Geometria e struttura	52
5.2.2 Attività e illuminazione.....	54
5.2.3 Modellazione dell’impianto HVAC	56
5.3 Baseline Building	63
5.3.1 Definizione del sistema HVAC del Baseline Building.....	65
5.3.2 Struttura del Baseline Building.....	66
5.3.3 Impianto HVAC del Baseline Building.....	68
6. Risultati delle simulazioni dinamiche	72
6.1 Valutazione del prerequisito “Minimum Energy Performance” e del credito “Optimize Energy Performance”	80
6.2 Valutazione del credito “Renewable Energy Production”	84
6.3 Valutazione del credito “Thermal Comfort”	85
6.4 Valutazione del credito “Daylight”	91
7. Conclusioni	100
8. Allegati.....	102
Allegato A: piante piano terra, primo e secondo non in scala	102
Allegato B: Schema funzionale dell’impianto	103
Allegato C: Estratto del report simulazione dinamica.....	104
Allegato D: Report simulazione illuminazione naturale.....	108
9. Bibliografia e sitografia.....	110

Indice delle figure

Figura 1 Le tappe di avvicinamento verso lo sviluppo sostenibile [4].....	2
Figura 2 I 17 Obiettivi di Sviluppo sostenibile (SDGs). [15]	3
Figura 3 La distanza dell'Italia dal raggiungimento dei target degli SDG.	5
Figura 4 Influenza dei Green Buildings sugli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile (SDGs).....	9
Figura 5 Riassunto degli edifici registrati/certificati LEED in Italia al 2017.	13
Figura 6 Nuvola Lavazza (Torino), certificato LEED Platinum [12]	14
Figura 7 Grattacielo Intesa San Paolo (Torino), certificato LEED Platinum. [9]	14
Figura 8 Stima del risparmio di denaro degli edifici certificati LEED dal 2015 al 2018. [17].....	16
Figura 9 Livelli di certificazione LEED	20
Figura 10 Scorecard LEED. [17]	20
Figura 11 Step del processo di certificazione LEED	21
Figura 12 Indoor Environmental Quality. [13]	29
Figura 13 Inquadramento dell'edificio	34
Figura 14 Prospetto sud. Disegno Autocad	35
Figura 15 Divisione in zone termiche. Disegno Autocad.....	39
Figura 16 Particolare ventilconvettore a parete	40
Figura 17 Ventilconvettore a controsoffitto AERMEC FCL.....	41
Figura 18 Principio di funzionamento impianto di ricambio aria. Disegno Autocad	42
Figura 19 Principio di funzionamento impianto di ricambio aria a portata variabile meeting rooms PT. Disegno Autocad.....	43
Figura 20 Grafico a torta delle dispersioni dell'edificio nel caso di progetto invernale	45
Figura 21 Logo Energy Plus.....	49
Figura 22 Logo Design Builder.....	50
Figura 23 Geometria dell'edificio realizzata su Design Builder	52
Figura 24 Rendering del modello generato su Design Builder	54
Figura 25 Profili orari di occupazione dei diversi locali utilizzati su DB	55
Figura 26 Schema dell'impianto HVAC del Proposed Building realizzato su DB	57
Figura 27 Circuito acqua calda lato sorgente Proposed Building realizzato su DB	58
Figura 28 Rappresentazione di un ventilconvettore su DB.....	59
Figura 29 Circuito acqua refrigerata lato sorgente del Proposed Building realizzato su DB	60
Figura 30 Impianto HVAC del CED del Proposed Building realizzato su DB	61
Figura 31 Circuito ad aria ventilazione Proposed Building collegato ad un gruppo di zone su DB..	61
Figura 32 Circuito acqua calda sanitaria del Proposed Building realizzato su DB.....	62
Figura 33 Sistema #3 del Baseline Building realizzato su DB	70
Figura 34 Sistema #9 dei bagni del Baseline Building realizzato su DB.....	70
Figura 35 Andamento giornaliero della temperatura esterna	72
Figura 36 Andamento giornaliero comfort ufficio Digisky stagione riscaldamento standard Proposed Building.....	73
Figura 37 Andamento giornaliero comfort ufficio Digisky riscaldamento 15 set- 15 mag Proposed Building	74
Figura 38 Grafico a torta usi finali di energia elettrica Proposed Building	75
Figura 39 Andamento giornaliero dispersioni involucro e ricambi d'aria per ora del Proposed Building	77
Figura 40 Andamento giornaliero apporti interi e solari Proposed Building	78
Figura 41 Andamento giornaliero dei carichi del sistema Proposed Building	78
Figura 42 Andamento giornaliero consumi separati per uso finale Proposed Building.....	79

Figura 43 Confronto consumi Proposed Vs Baseline Building	80
Figura 44 Andamento giornaliero carichi del sistema Baseline	81
Figura 45 Andamento giornaliero dispersioni involucro e ricambi d'aria per ora del Baseline Building	82
Figura 46 Andamento giornaliero consumi energetici separati per uso finale Baseline Building ...	83
Figura 47 Andamento orario PMV e PPD settimana tipica estiva.....	85
Figura 48 Andamento orario PMV e PPD settimana tipica invernale	86
Figura 49 Andamento orario UR e temperatura interna settimana tipica invernale.....	87
Figura 50 UTA con umidificatore.....	87
Figura 51 Andamento orario PMV e PPD settimana tipica invernale con umidificatore	88
Figura 52 Andamento orario UR e temperatura interna settimana tipica invernale con umidificatore.....	89
Figura 53 Andamento giornaliero della radiazione solare diretta	94
Figura 54 Impostazioni di DB per simulazione illuminazione naturale Opzione 2 Daylight.....	94
Figura 55 Distribuzione illuminamento piano primo h 9:00 del 21 settembre.....	95
Figura 56 Distribuzione illuminamento piano primo h 15:00 del 21 settembre.....	95
Figura 57 Distribuzione illuminamento ufficio open space PT h 9:00 e h 15:00 del 21 settembre .	97
Figura 58 Identificazione dell'Ufficio Responsabile dell'Ingegneria al piano terra	98
Figura 59 Distribuzione dell'illuminamento Ufficio Responsabile Ingegneria h 9 e h 15 del 21 settembre	98

Indice delle tabelle

Tabella 1 Tabella dei punteggi ottenibili scegliendo l'Opzione 1 del credito EA Optimize Energy Performance	27
Tabella 2 Tabella dei punteggi ottenibili per il credito EA Renewable Energy Production.....	28
Tabella 3 Tabella di confronto del range di comfort tra ISO 7730-2005 e EN 15251-2007.....	30
Tabella 4 Tabella dei punteggi ottenibili scegliendo l'Opzione 1 del credito EQ Daylight.....	31
Tabella 5 Tabella dei punteggi ottenibili scegliendo l'Opzione 2 del credito EQ Daylight.....	32
Tabella 6 Coefficiente di trasmittanza termica U delle finestre dell'edificio di progetto	37
Tabella 7 Caratteristiche ventilconvettori installati nell'edificio di progetto	41
Tabella 8 Caratteristiche dei radiatori presenti nei bagni dell'edificio di progetto	42
Tabella 9 Caratteristiche dei recuperatori di calore dell'edificio di progetto	43
Tabella 10 Dispersioni dell'edificio.....	45
Tabella 11 Dettaglio delle dispersioni dell'edificio nel caso di progetto invernale	45
Tabella 12 Profili orari occupazione utilizzati su EdilClima	46
Tabella 13 Dettaglio delle dispersioni dell'edificio nel caso di progetto estivo	47
Tabella 14 Temperature mensili Collegno	64
Tabella 15 Table G3.1.1A Tipologie di impianti per l'edificio di riferimento dallo standard ASHRAE 90.1- 2010	65
Tabella 16 Table G3.1.1B Descrizione impianto dell'edificio di riferimento dallo standard ASHRAE 90.1- 2010	65
Tabella 17 Table 5.5-4 Requisiti dell'involucro zona climatica 4 (A, B, C) dallo standard ASHRAE 90.1- 2010	67
Tabella 18 Table 5.5-4 Requisiti dell'involucro trasparente zona climatica 4 (A, B, C) dallo standard 90.1- 2010	67
Tabella 19 Confronto struttura e carichi interni tra l'edificio di progetto e quello di riferimento ..	71
Tabella 20 Confronto impianto HVAC tra l'edificio di progetto e quello di riferimento.....	71
Tabella 21 Uso di energia per superficie lorda Proposed Building	75
Tabella 22 Usi finali di energia Proposed Building	75
Tabella 23 Consumo di energia elettrica per unità di superficie lorda	76
Tabella 24 Sommario energia rinnovabile prodotta	84
Tabella 25 Valori medi PMV e PPD settimana tipica estiva/invernale.....	86
Tabella 26 Riepilogo risultati Daylight Opzione 1	92
Tabella 27 Radiazione solare diretta/diffusa nei giorni di massima radiazione solare diretta.....	94

1. Sostenibilità e Agenda 2030

A partire dall'epoca preindustriale le attività umane hanno causato un innalzamento della temperatura media globale della Terra di circa 1,0 °C a causa della crescente emissione di CO₂, con conseguenze evidenti e disastrose sull'ambiente e sulle persone, come l'innalzamento del livello del mare e la maggiore frequenza di eventi catastrofici. Durante questo periodo, inoltre, si è assistito ad un deterioramento delle risorse preziose come l'acqua, un aumento dell'inquinamento atmosferico e uno sfruttamento delle risorse non equilibrato. Le emergenze ambientali e gli effetti disastrosi dei cambiamenti climatici sull'ambiente e sulla vita umana impongono la necessità di attuare interventi concreti per contrastare questo andamento. In questo contesto si colloca il concetto di sviluppo sostenibile, la cui definizione universalmente riconosciuta è quella definita nel Rapporto Brundtland del 1987 secondo cui "Lo sviluppo sostenibile è quello sviluppo che consente alla generazione presente di soddisfare i propri bisogni senza compromettere la possibilità delle generazioni future di soddisfare i propri".

Il tradizionale modello di sviluppo, basato sullo sfruttamento irrefrenabile di risorse naturali e su un'industrializzazione che non pone l'adeguata attenzione all'ambiente, ha ormai una innegabile conseguenza legata al collasso dell'ecosistema terrestre: la corsa alla crescita economica deve necessariamente avere un occhio di riguardo verso l'ambiente. La comunità internazionale si è resa conto di questa necessità fin dagli anni Settanta, prendendo decisioni importanti a livello globale, come il Protocollo di Kyoto del 1997, un protocollo su base volontaria i cui firmatari si impegnavano nella riduzione delle emissioni di gas ad effetto serra del proprio Paese rispetto ai livelli di emissione del 1990.

Nel 2011 in Svezia si è adottata la Strategia dell'Unione europea per lo sviluppo sostenibile, un piano a lungo termine per il coordinamento delle politiche ai fini di uno sviluppo sostenibile.

La sostenibilità è un concetto ampio, che riguarda diversi aspetti tra cui Economia, Ambiente e Responsabilità sociale, definito "Triple bottom line":

- la sostenibilità dal punto di vista economico riguarda la creazione di un sistema economico che sia in grado di produrre reddito e lavoro in maniera duratura;
- la sostenibilità dal punto di vista ambientale interessa la tutela dell'ecosistema e il rinnovamento delle risorse naturali;
- la sostenibilità dal punto di vista sociale riguarda la capacità di garantire un'equa distribuzione delle condizioni di benessere umano.

La reale visione integrata delle tre dimensioni dello sviluppo arriva nel settembre del 2015 quando i 193 leader dei Paesi membri dell'ONU sottoscrivono l'Agenda 2030 per lo Sviluppo Sostenibile, un programma d'azione per le persone, il pianeta e la prosperità. Nel 2015 viene inoltre firmato l'Accordo di Parigi (COP21) che stabilisce un quadro globale per limitare l'avanzamento del cambiamento climatico con l'obiettivo di evitare un ulteriore innalzamento della temperatura media mondiale. Nell'immagine seguente vengono richiamate le tappe principali verso lo sviluppo sostenibile.

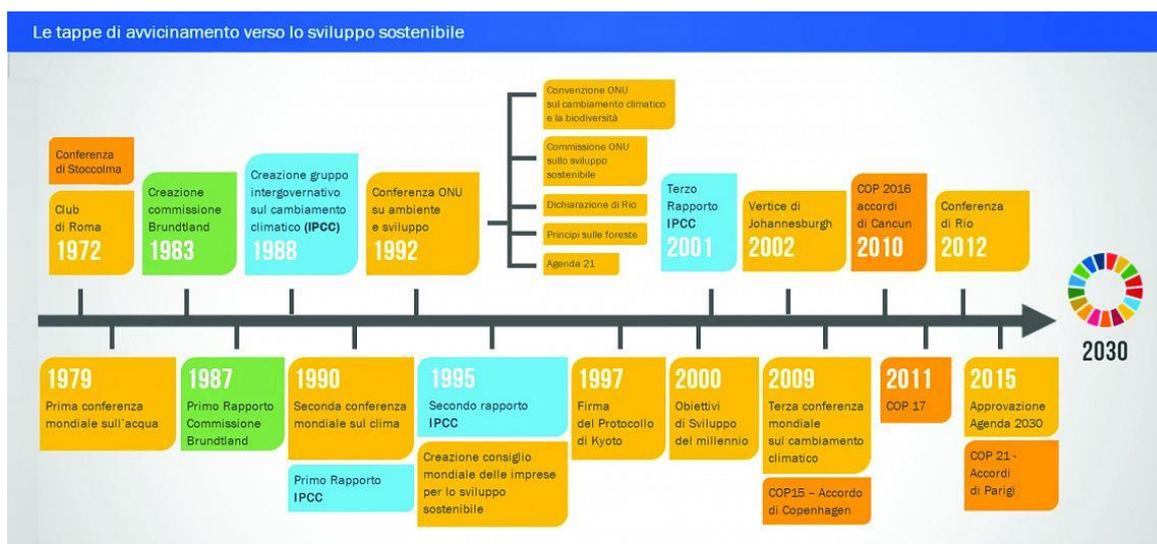


Figura 1 Le tappe di avvicinamento verso lo sviluppo sostenibile [4]

Cuore dell'Agenda 2030 sono i 17 obiettivi di sviluppo sostenibile (SDGs, Sustainable Development Goals) e i 169 sotto-obiettivi, che mirano a ridurre la povertà, lottare al cambiamento climatico, ridurre l'ineguaglianza e promuovere lo sviluppo sociale ed economico sostenibile. L'avvio ufficiale degli Obiettivi per lo Sviluppo Sostenibile ha avuto inizio nel 2016: l'intenzione è di raggiungere gli obiettivi prefissati entro il 2030, grazie al contributo di tutti i Paesi in base alle proprie capacità.

L'agenda 2030 è basata su cinque concetti chiave, definite le 5P¹:

- Persone: eliminare fame e povertà, garantire dignità e uguaglianza;
- Prosperità: garantire vite prospere e in armonia con la natura;
- Pace: promuovere società pacifiche, giuste, inclusive;
- Partnership: implementare l'Agenda attraverso solide partnership;
- Pianeta: proteggere le risorse naturali e il clima del pianeta per le generazioni future.

¹ ASviS, L'Agenda 2030 dell'ONU per lo sviluppo sostenibile, www.asvis.it

Gli SDGs sono fortemente interconnessi così come le tre dimensioni dello sviluppo sostenibile (economica, ambientale e sociale): ogni Obiettivo, quindi, deve essere perseguito sulla base di un approccio che tenga conto delle suddette relazioni e che si preoccupi di non ripercuotersi negativamente sugli altri.



Figura 2 | 17 Obiettivi di Sviluppo sostenibile (SDGs). [15]

L'ottenimento effettivo dei miglioramenti per il raggiungimento degli obiettivi nel giro di quindici anni è un'impresa ardua ma la precedente esperienza, obiettivi per lo sviluppo del Millennio adottati nel 2000, ha dimostrato che questo metodo funziona: la povertà globale è in decrescita, l'accesso all'acqua è sempre più diffuso, aumentano l'accesso alla scuola e gli investimenti per la salute.

Nonostante le azioni introdotte da tutti i Paesi negli ultimi anni, il mondo non sembra ancora essere nella direzione di uno sviluppo sostenibile. A quattro anni dall'adozione dell'Agenda 2030 le misure adottate dai singoli Paesi non sembrano essere sufficienti a vincere la sfida: in Europa, tra il 2016 e il 2017, si osservano miglioramenti solo in 10 dei 17 Obiettivi di Sviluppo Sostenibile². Recentemente però le istituzioni europee hanno introdotto numerose misure per agevolare la transizione verso la sostenibilità. In particolare, in ambito energetico, è stata approvata la Direttiva 2018/2001/UE sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili e la Direttiva 2018/2002/UE sull'efficienza energetica. La Direttiva 2018/2001/UE, seguendo l'impegno preso di ridurre del 40% le emissioni climalteranti rispetto ai livelli del 1990, include la definizione di un obiettivo generale per l'UE per il 2030 di raggiungere una quota di fonti rinnovabili del 32% e in particolare di aumentare del 1,5% all'anno la quota di fonti rinnovabili negli impieghi per riscaldamento/raffrescamento e di raggiungere una quota del 14% di fonti rinnovabili nei trasporti. La Direttiva 2018/2002/UE invece introduce un nuovo obiettivo di miglioramento dell'efficienza energetica della UE di almeno il 32,5% per il 2030. Gli Stati membri sono tenuti a presentare dei piani nazionali integrati per l'energia e il clima (PNIEC) per il periodo 2021-2030, ovvero un

² ASviS, *L'Italia e gli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile*, Rapporto ASviS 2019

documento in cui vengono stabiliti gli obiettivi nazionali al 2030 sull'efficienza energetica, fonti rinnovabili e sulla riduzione delle emissioni di anidride carbonica.

Il PNIEC recentemente presentato dall'Italia si struttura in cinque linee di intervento basate sulla decarbonizzazione, sull'efficienza energetica, sul mercato dell'energia, sulla ricerca, l'innovazione e la competitività. Il Piano promuove quindi l'uso di fonti rinnovabili ponendo l'obiettivo della copertura del 30% dei consumi totali al 2030 per ridurre l'utilizzo di fonti fossili; altro obiettivo è la riduzione del 33% delle emissioni di CO₂ al 2030 nei settori non-ETS (industria esclusa da ETS, trasporti, edilizia, servizi, agricoltura). L'Italia prevede inoltre di ridurre il fabbisogno di energia primaria del 43%, valore ottimistico rispetto all'obiettivo europeo del 32,5%.³

L'Italia si sta impegnando quindi nel raggiungimento degli obiettivi europei nell'ambito della sostenibilità, sia a livello politico, promuovendo politiche più green, sia a livello comunitario sensibilizzando la popolazione.

Nel gennaio 2016 inizia ad operare l'Agenzia Italiana per la Cooperazione allo Sviluppo (AICS), nata dalla legge di riforma della cooperazione (Legge n. 125/2014), che si pone l'obiettivo di allineare l'Italia ai principali Paesi europei nell'impegno per lo sviluppo sostenibile. Gli obiettivi principali dell'AICS, in linea con gli SDGs, si possono riassumere nella diffusione di una nuova forma di "economia della promozione umana" che ha l'obiettivo di redistribuire in modo più equo la ricchezza, garantire l'accesso al diritto alla salute e all'istruzione e promuovere la sostenibilità ambientale.

Altra organizzazione che ha un ruolo chiave in questo ambito è l'Alleanza Italiana per lo Sviluppo Sostenibile (ASviS) nata nel 2016 grazie alla Fondazione Unipolis e l'Università Tor Vergata di Roma con lo scopo di far crescere nella società italiana, nei soggetti economici e nelle istituzioni la consapevolezza dell'importanza dell'Agenda 2030 per lo sviluppo sostenibile e per mobilitarli alla realizzazione degli SDGs. L'Alleanza, che riunisce più di 270 membri tra istituzioni e reti della società civile, mira ad aiutare l'Italia a raggiungere gli obiettivi, definendo una apposita strategia che analizzi inoltre le opportunità e le implicazioni per l'Italia legate allo sviluppo sostenibile.

L'Italia nel 2019 ha raggiunto 12 dei 105 sotto-obiettivi che deve conseguire entro il 2030, e per molti altri la distanza dall'obiettivo è breve. Per esempio, l'Italia ha già realizzato gli Obiettivi nell'area della sanità, accesso all'elettricità e combustibili puliti e quantità di terreni coperti da alberi. Il nostro Paese risulta però ancora molto indietro nel raggiungimento di alcuni target, come

³Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, Ministero dello Sviluppo Economico, Piano nazionale integrato per l'energia e il clima, dicembre 2019

la formazione degli insegnanti, la violenza contro le donne, la percentuale di ragazzi che non studiano, non lavorano e non sono impegnati nella formazione. Il grafico sottostante mostra la distanza di ogni target dei 17 obiettivi: più la barra è corta, più si è lontani dal raggiungimento dell'obiettivo. Dal grafico si intuisce che l'Italia risulta vicina a conseguire i goals riguardanti l'Energia (Goal 7) e alcuni goals riguardanti il Pianeta (Produzione Sostenibile, Clima, Oceani).

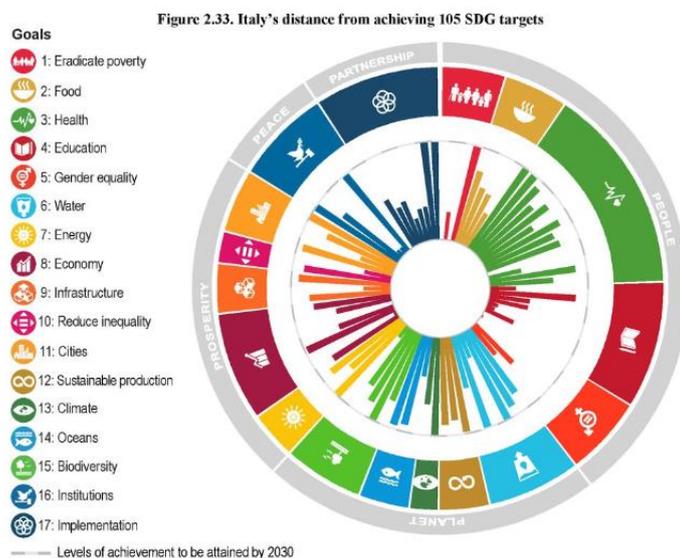


Figura 3 La distanza dell'Italia dal raggiungimento dei target degli SDG.⁴

A causa della pandemia globale tutti i Paesi, compresa l'Italia, hanno subito una battuta d'arresto nel raggiungimento di molti obiettivi. Durante questo periodo, infatti, si dà giustamente la precedenza alla salute della popolazione lasciando in secondo piano, ma non abbandonando, gli obiettivi di sostenibilità prefissati. La pandemia, inoltre, ha evidenziato profonde carenze nei sistemi di salute pubblica, inclusi quelli dei Paesi più ricchi che si consideravano pronti ad affrontare un'emergenza di tale portata. A seguito della pandemia si prevede un aumento di persone a rischio di povertà (ostacolando l'SDG1 "No poverty"), un aumento della disoccupazione (ostacolando l'SDG8 "Lavoro dignitoso e crescita economica"), un aumento delle situazioni di violenza contro i gruppi più vulnerabili (ostacolando SDG5 "Uguaglianza di genere" e SDG 16 "Pace, giustizia e istituzioni forti"). Per evitare il non raggiungimento degli obiettivi prefissati e quindi per alleviare povertà e disuguaglianze sociali, urge la necessità di una ripartenza e di una rinascita delle comunità colpite dal virus che utilizzi gli SDGs come linea guida per le proprie iniziative politiche.

⁴ OECD (2019), *Measuring Distance to the SDG Targets 2019: An Assessment of Where OECD Countries Stand*, OECD Publishing, Paris, <http://doi.org/10.1787/a8caf3fa-en>

1.1 Green Buildings

Il termine “Green Building”, sempre più diffuso nel settore delle costruzioni, è spesso utilizzato come sinonimo di edificio sostenibile. I Green Building sono edifici progettati, costruiti e gestiti in maniera sostenibile ed efficiente. La sostenibilità si dimostra nello scegliere processi che siano ambientalmente responsabili e utilizzare risorse efficienti nell’intero ciclo vita dell’edificio. Il ciclo vita include tutte le fasi a partire dalla scelta del luogo, progettazione, costruzione, operazione, manutenzione, ristrutturazione e decostruzione.

Qualsiasi edificio può essere un Green Building, che sia una casa, un ufficio, una scuola o un ospedale, l’importante è che venga progettato con l’obiettivo di ridurre l’impatto negativo sull’ambiente e sulla salute umana utilizzando in modo efficiente le risorse naturali, proteggendo la salute degli occupanti e migliorandone la produttività, riducendo il consumo di acqua e la produzione di rifiuti, ricercando continuamente modi per migliorare le performance.

Per raggiungere tutti i benefici di un Green Building è necessario scegliere una progettazione del tipo “Whole Building” che è nettamente diversa dalla progettazione tradizionale. Nel processo di progettazione tradizionale i diversi sistemi sono visti come elementi separati e le scelte sono basate sul budget o a livello della prestazione del singolo sistema. Infatti, ogni ambito della progettazione di un edificio, si pensi alla ventilazione, all’involucro, ai materiali, all’illuminazione, ai sistemi di riscaldamento e raffrescamento, vengono affrontati da professionisti specializzati che si occupano del proprio ambito di competenza spesso senza interagire tra loro: questo processo di progettazione non tiene conto delle performance finali dell’intero edificio. La progettazione di un Green Building invece è una progettazione integrata e deve essere tale fin dalle prime fasi del processo, quando può essere veramente efficace. Un processo integrativo è un approccio basato sulla collaborazione tra persone, sullo scambio di informazioni riguardo sistemi, strutture e tecnologie di un processo in modo tale da ottimizzare i risultati del progetto. La fase di pre-design risulta fondamentale perché si definiscono tutti gli obiettivi dell’edificio in progetto insieme agli stakeholders. Durante questa fase è necessario analizzare l’intero progetto dal punto di vista del ciclo di vita, definire una priorità nei goals, stabilire il budget, scegliere il team di progetto e ricercare le tecnologie e le strategie green più adatte al progetto. Dopodiché si procede con la fase di progettazione vera e propria, la costruzione e l’occupazione dell’edificio.

La grande differenza rispetto alla progettazione tradizionale è che durante tutte le fasi il team rivede il progetto e verifica che tutti gli obiettivi di sostenibilità prefissati vengano raggiunti. Questo tipo di progettazione è un processo iterativo che richiede grandi sforzi da parte di tutti i partecipanti ma permette di ottenere edifici altamente performanti.

1.1.1 Green Buildings e SDGs

Il World Green Building Council (WorldGBC) è un'organizzazione no-profit e una rete internazionale di Green Building Councils nata nel 2002 dallo stesso fondatore del USGBC (U.S. Green Building Council), David Gottfried. Il WorldGBC promuove l'edilizia sostenibile per tutti i tipi di edifici. L'obiettivo è trasformare il settore dell'edilizia focalizzandosi su tre aree strategiche: azione per il clima, salute e benessere, risorse e circolarità. Il WorldGBC è una rete globale composta da circa 70 Green Building Councils presenti in tutto il mondo che opera con aziende, organizzazioni e governi per raggiungere gli obiettivi definiti nell'Accordo di Parigi e quelli globali definiti dalle Nazioni Unite. La rete si pone l'obiettivo quindi di costruire un ambiente a emissioni di carbonio pari a zero, sano, equo e resiliente.

Spesso i concetti definiti nell'Agenda 2030 sono ritenuti astratti e difficili da mettere in pratica: i Green Buildings sono un esempio concreto dell'esistenza di molteplici possibilità per prendere coscienza e agire in concreto, in linea con gli SDGs. Nell'ambito degli SDGs, i Green Buildings coinvolgono tutto ciò che circonda la struttura vera e propria. La realizzazione di Green Buildings, infatti, è un'opportunità non solo di risparmio energetico, di acqua e di riduzione delle emissioni ma anche di educare, creare lavoro, rafforzare le comunità, migliorarne le condizioni di salute e benessere. In particolare, l'edilizia sostenibile influisce in modo significativo su alcuni dei 17 obiettivi⁵:

Goal 3: GOOD HEALTH & WELLBEING. L'obiettivo del goal 3 è di assicurare una vita sana e promuovere il benessere per tutte le età. I Green Buildings, infatti, pongono particolare attenzione alla qualità dell'ambiente interno, quindi al miglioramento dell'illuminazione, alla qualità dell'aria, al comfort termico e acustico impattando in modo positivo sulla salute, il benessere e la produttività dell'individuo.

Goal 7: AFFORDABLE & CLEAN ENERGY. L'energia più conveniente è quella che non viene consumata e quella risparmiata da un edificio efficiente. L'utilizzo di energia rinnovabile inoltre può spesso essere economicamente vantaggioso oltre che ridurre le emissioni di anidride carbonica, evitando l'utilizzo di fonti fossili.

Goal 8: DECENT WORK & ECONOMIC GROWTH. L'obiettivo è promuovere una crescita economica inclusiva e sostenibile, un impiego e un lavoro dignitoso per tutti. L'industria dell'edilizia sostenibile

⁵ World GBC, *Green building: Improving the lives of billions by helping to achieve the UN Sustainable Development Goals*, 23rd March 2017, <https://www.worldgbc.org/news-media/green-building-improving-lives-billions-helping-achieve-un-sustainable-development-goals> (ultimo accesso 20/08/2020)

è in crescita e comporta un aumento dei posti di lavoro legati a questo ambito. Infatti, durante l'intero ciclo vita del green building, dalla progettazione, alla manutenzione, al commissioning, vengono coinvolte numerose figure professionali.

Goal 9: INDUSTRY, INNOVATION & INFRASTRUCTURE. L'obiettivo è costruire delle infrastrutture resilienti, innovative e promuovere la sostenibilità nell'industria. Gli edifici, infatti, devono garantire di essere resilienti e adattabili alle conseguenze del cambiamento climatico. L'intenzione è di realizzare edifici a emissioni zero grazie a nuove tecnologie e strategie.

Goal 11: SUSTAINABLE CITIES & COMMUNITIES. L'obiettivo è realizzare città più inclusive, sicure e sostenibili. Si prevede che almeno il 60% della popolazione mondiale vivrà in un'area urbana entro il 2030, quindi è fondamentale assicurare che queste siano sostenibili. Proprio per questo alcuni Green Building Councils si stanno spostando dalla certificazione del singolo edificio alla certificazione di quartieri e città verdi.

Goal 12: RESPONSIBLE CONSUMPTION & PRODUCTION. L'obiettivo è assicurare modelli di consumo e di produzione sostenibili. Il goal si focalizza sulla promozione di risorse ed efficienza energetica, infrastrutture sostenibili, garantendo l'accesso ai servizi primari. L'industria edilizia ha un ruolo fondamentale nella riduzione, riciclo e riuso dei rifiuti: le certificazioni promuovono infatti l'utilizzo di materiali da costruzione di recupero, nel pieno senso del principio di circolarità.

Goal 13: CLIMATE ACTION. L'obiettivo è combattere il cambiamento climatico e i suoi impatti prendendo delle decisioni urgenti in ambito di emissioni climalteranti. Gli edifici sono responsabili del 30% delle emissioni globali di gas serra, quindi contribuiscono in modo decisivo al cambiamento climatico: per questo è importante che gli edifici siano più efficienti possibili.

Goal 15: LIFE ON LAND. L'obiettivo è quello di proteggere le foreste, combattere la desertificazione, invertire il degrado del suolo, arrestare la perdita di biodiversità. I materiali utilizzati nella costruzione degli edifici devono essere di provenienza responsabile. Inoltre, le certificazioni degli edifici verdi riconoscono la riduzione del consumo di acqua e il valore della biodiversità e dell'importanza di incorporarla nello spazio da costruire.

Goal 17: PARTNERSHIPS FOR THE GOALS. Rivitalizzare la partnership globale per lo sviluppo sostenibile. Storicamente l'industria edile non ha avuto una voce comune sulla scena mondiale nelle principali conferenze sul cambiamento climatico e spesso non è stata considerata. Nel 2015 invece molte organizzazioni, tra cui il WorldGBC, si sono riunite per ospitare il primo "Buildings Day" come parte dell'agenda ufficiale della COP21 e per lanciare the Global Alliance for Building and Construction. Sono così nate delle nuove e importanti partnership con l'obiettivo di guidare il

cambiamento. Oggi, con la pandemia in corso, risulta fondamentale il ruolo della partnership globale per lo sviluppo sostenibile che deve guidare la rinascita economica.

L'immagine seguente rappresenta graficamente l'influenza dell'edilizia sostenibile sugli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile: maggiore è l'altezza della colonna, maggiore è l'influenza. Si nota come l'edilizia sostenibile abbia un impatto maggiore sull'uso responsabile di risorse perché grazie al principio di circolarità può notevolmente ridurre lo spreco di queste.



Figura 4 Influenza dei Green Buildings sugli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile (SDGs).⁶

⁶ World GBC, *Green building: Improving the lives of billions by helping to achieve the UN Sustainable Development Goals*, 23rd March 2017, <https://www.worldgbc.org/news-media/green-building-improving-lives-billions-helping-achieve-un-sustainable-development-goals> (ultimo accesso 20/08/2020)

2. Il sistema di classificazione LEED

La certificazione energetica LEED (acronimo di Leadership in Energy and Environmental Design) è un sistema di classificazione statunitense su base volontaria che si occupa della progettazione e della costruzione sostenibile in tutte le fasi del processo. Sviluppata dal U.S. Green Building Council (USGBC), LEED mira a misurare la progettazione, la costruzione, il funzionamento e la manutenzione dei Green Buildings. USGBC è un'organizzazione no profit, fondatrice della rete WorldGBC, che ha più di 15.000 membri appartenenti a diversi settori dell'edilizia e lavora per promuovere la realizzazione di edifici che siano economicamente vantaggiosi, confortevoli e rispettosi dell'ambiente. USGBC procura strumenti e strategie per decisori politici e leader locali o nazionali e per i team di progettazione. Inoltre, mette a disposizione una serie di strumenti a livello educativo per permettere a chiunque di accrescere la propria conoscenza in merito ai Green Buildings. I principi che guidano l'organizzazione sono la promozione della *triple bottom line*, restaurare l'armonia tra natura e uomo, definire strategie che possano essere usate come linee guida dai decisori politici, assicurare un processo di inclusione.

LEED nasce nel 1993 grazie allo scienziato Robert K. Watson, direttore del Natural Resources Defense Council (NRDC) che, in quanto presidente fondatore del comitato direttivo LEED fino al 2006, ha guidato un ampio processo di consenso che comprendeva un insieme di organizzazioni no profit, agenzie governative, architetti, ingegneri, costruttori e altri leader del settore industriale. Negli anni LEED è cresciuto passando da un unico standard iniziale dedicato alle nuove costruzioni a un sistema costituito da sei standard che coprono diversi aspetti del processo di sviluppo e costruzione. Oggi LEED è una realtà mondiale importante: secondo GBC Italia ogni giorno vengono certificati LEED più di 170 mila metri quadrati in tutto il mondo. Grazie anche ad una crescente attenzione alla sostenibilità, oggi l'edilizia sostenibile e quindi le certificazioni ambientali hanno un ruolo chiave a livello globale.

Il processo di progettazione e costruzione di un edificio deve includere un insieme di esperti, strumenti e tecnologie all'avanguardia per permettere di realizzare un edificio il più possibile sostenibile. In particolare, il sistema di certificazione LEED mira a promuovere la trasformazione del settore delle costruzioni attraverso strategie che hanno lo scopo di raggiungere i seguenti sette obiettivi⁷:

⁷ U.S. Green Building Council, *Reference Guide for Building Design and Construction v4*, 01 Ottobre 2014, U.S. Green Building Council

- invertire il cambiamento climatico globale;
- 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, stimolando una competizione "green";
- aumentare l'equità sociale, la giustizia ambientale, la salute e la qualità della vita della comunità.

Questi sono gli obiettivi su cui si basa l'intero sistema LEED, che a livello più generale mira a definire uno standard comune per la definizione di edificio green promuovendo una progettazione integrata dove venga riconosciuta l'importanza dell'aspetto ambientale. LEED in particolare si sforza di evitare lo spreco di risorse promuovendo strategie rinnovabili, minimizzando gli impatti ambientali negativi e offrendo un'elevata qualità dell'ambiente interno per gli occupanti.

2.1 Certificazioni energetico-ambientali nel mondo

A livello internazionale i sistemi di certificazione ambientale più diffusi sono il LEED e il BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method). Quest'ultimo è stato sviluppato nel 1988 dalla Building Research Establishment (BRE), storica compagnia britannica che si occupa della ricerca nel settore delle costruzioni. Analogamente al LEED, il BREEAM è su base volontaria ed è costituito da una serie di principi che definiscono un approccio integrato alla progettazione, costruzione, gestione, valutazione e certificazione. Tra i molti Green Buildings esistenti, oltre 2.310.119 in tutto il mondo sono stati sottoposti alla valutazione BREEAM in 87 Paesi diversi, con un totale di edifici attualmente certificati pari a 591.878. [5]

BREEAM è molto flessibile, si adatta alla tipologia di edificio analizzata grazie ai diversi standard esistenti: standard per nuove costruzioni residenziali e non, per migliorare le prestazioni degli edifici esistenti, per interventi di ristrutturazione e per progetti masterplan. Anche in questo caso sono presenti delle categorie per la valutazione, dall'ambito energetico a quello ecologico. In Italia più di 250 edifici sono certificati BREEAM, situati soprattutto nel Nord Italia.

Gli edifici vengono valutati secondo i livelli "Pass", "Good", "Very good", "Excellent", "Outstanding". BREEAM prevede inoltre la possibilità di attribuire un determinato peso alle aree di valutazione, sulla base del contesto in cui si effettua la certificazione. Permette anche di utilizzare standard nazionali o locali di riferimento per dimostrare le prestazioni richieste. A differenza degli altri sistemi di classificazione, BREEAM pone inoltre l'attenzione sulla sicurezza dell'utente (sul luogo di lavoro, nell'accesso all'edificio).

In Italia i sistemi di certificazione energetico-ambientale più utilizzati sono LEED e CasaClima Nature. Quest'ultimo è un protocollo italiano che cerca di analizzare a fondo l'intero ciclo vita di una costruzione, non solo dal punto di vista energetico come il tradizionale protocollo CasaClima, ma ponendo particolare attenzione al benessere delle persone e all'impatto ambientale. Introduce una valutazione oggettiva degli impatti ambientali dei materiali e dell'impatto idrico dell'edificio, espresso in termini di fabbisogno di acqua potabile e di mantenimento del ciclo idrico naturale. Il protocollo CasaClima Nature analizza un numero inferiore di aspetti rispetto agli altri protocolli ma richiede spesso verifiche più accurate e rigorose, basate su dati reali e misurazioni sul campo.

In Italia è inoltre ampiamente diffuso il Protocollo ITACA, un sistema di classificazione che garantisce l'oggettività della valutazione attraverso l'impiego di indicatori e metodi di verifica conformi alle leggi nazionali e alle norme tecniche. Il Protocollo è stato realizzato da ITACA (Istituto per l'innovazione e la trasparenza degli appalti e la compatibilità ambientale), con il supporto tecnico di iISBE Italia (international initiative for a Sustainable Built Environment Italia) e ITC-CNR. Il Protocollo ITACA prevede cinque aree di valutazione che riguardano l'edificio e l'area esterna di pertinenza: qualità dell'aria, consumo di risorse, carichi ambientali, qualità dell'ambiente interno, qualità del servizio. Si basa sull'individuazione di criteri, cioè di temi ambientali che permettono di valutare le varie prestazioni di un edificio attraverso la definizione di prestazioni di riferimento (benchmark) con cui confrontare quelle dell'edificio in esame per l'attribuzione di un punteggio. Per l'ottenimento del punteggio finale si deve tener conto del peso di ogni criterio che ne determina la maggiore o minore importanza. Ogni regione italiana ha sviluppato un proprio Protocollo ITACA in cui dà maggiore importanza alle aree che più necessitano di attenzione. Il Protocollo è stato adottato da numerose regioni, tra cui il Piemonte, in diverse iniziative volte a promuovere l'edilizia sostenibile attraverso leggi regionali, regolamenti edilizi, gare d'appalto.

2.1.1 LEED in Italia

A livello nazionale è presente il Green Building Council Italia (GBC Italia), organizzazione no profit che fa parte della rete internazionale del WorldGBC. Il GBC Italia ha sviluppato dei protocolli ispirati ai rating systems LEED ma che fanno riferimento alla realtà costruttiva e normativa italiana ed europea. I sistemi di classificazione appositamente sviluppati sono: GBC Historic Building (per edifici storici), GBC Home (per edifici residenziali), GBC Quartieri (progettazione o riqualificazione di aree urbane), GBC Condomini (progettazione o riqualificazione di complessi residenziali).

Nella realtà italiana la costruzione di Green Buildings è sempre più diffusa e le certificazioni energetiche degli edifici sono sempre più richieste. Gli edifici certificati e registrati LEED in Italia nel 2014 erano 297, per un totale di più di 4,5 milioni di metri quadri lordi⁸.

Secondo quanto dichiarato da GBC Italia nel 2016 gli edifici certificati e registrati LEED (inclusi i protocolli italiani) erano pari a 359 per una superficie totale di circa 4,9 milioni di metri quadri lordi.⁹ Tale rapido aumento di progetti inquadra bene l'interesse crescente verso la sostenibilità e gli edifici green. Tra i 359 progetti del 2016 ben 134 risultavano già certificati mentre gli altri erano in fase di certificazione. Il fenomeno ha in generale un trend crescente grazie alla promozione svolta dal governo e dagli enti interessati, tra cui spicca il lavoro di GBC Italia. In particolare, a seguito dell'uscita dei protocolli LEED Italia nel 2010, si è vista una flessione del numero di progetti interessati alla certificazione. Il protocollo LEED Italia infatti, basandosi sulla normativa italiana, rende più semplice a tutti i professionisti interessati di comprendere e soddisfare i vari crediti.

Se si osservano i grafici seguenti aggiornati al 2017 è possibile evidenziare come l'interesse verso la certificazione LEED sia in rapida crescita proprio dal 2010 in poi. Interessante inoltre notare come la maggior parte degli edifici certificati LEED in Italia abbia raggiunto un livello Gold o Platinum, i più alti livelli di certificazione raggiungibili.



Figura 5 Riassunto degli edifici registrati/certificati LEED in Italia al 2017.¹⁰

⁸ U.S. Green Building Council, *LEED in Motion: Italy*, released at the Greenbuild Europe & the Mediterranean Conference and Expo, Oct. 14-16 in Verona, Italy

⁹ GBC Italia, *I numeri di LEED in Italia: un fenomeno sempre più in crescita*, 07/07/2016, www.gbccitalia.org

¹⁰ GBC Italia, *Il green building italiano si distingue per eccellenza*, 11/12/2017, www.gbccitalia.org

Quelli che hanno già ottenuto la certificazione sono situati prevalentemente nel Nord Italia anche se una buona porzione è presente a Roma. Tra gli edifici certificati LEED sul territorio piemontese spiccano il nuovo centro direzionale Lavazza chiamato “Nuvola” costruito nel 2017 e il centro direzionale Intesa San Paolo costruito nel 2015, entrambi certificati con il massimo livello (LEED Platinum). Il nuovo centro direzionale Lavazza sorge nel quartiere Aurora, in un’area industriale sottoposta a riqualificazione. Le facciate si caratterizzano per alternanza di pareti vetrate trasparenti a pannelli metallici di color bronzo. Sono inoltre presenti numerosi elementi verticali e orizzontali esterni al piano delle vetrate che, oltre a creare uno spettacolo di luci e ombre nelle diverse ore del giorno, contribuiscono a schermare l’ambiente interno dalle radiazioni solari.



Figura 6 Nuvola Lavazza (Torino), certificato LEED Platinum [12]



Figura 7 Grattaciolo Intesa San Paolo (Torino), certificato LEED Platinum. [9]

Il grattaciolo Intesa San Paolo, progettato dall’architetto Renzo Piano, è alto circa 167 m per un totale di 38 piani fuori terra. La facciata sud è rivestita da cellule fotovoltaiche mentre le facciate est e ovest sono rivestite da una “doppia pelle” di acciaio con un sistema di lamelle mobili che vengono controllate in modo centralizzato per ottimizzare la temperatura e la luminosità degli ambienti interni.

Entrambi gli edifici sono caratterizzati dalla presenza di un campo fotovoltaico che permette di coprire parte del fabbisogno di energia elettrica. Ambedue inoltre sono caratterizzati da un impianto di illuminazione, prevalentemente a LED, che viene regolato in funzione della quantità di luce naturale che penetra nell’edificio. Il comfort termico è garantito da un sistema di pannelli radianti a soffitto. La climatizzazione è basata su un sistema geotermico che sfrutta l’acqua di falda per riscaldare e raffreddare gli ambienti. Le tecnologie sopra descritte sono analoghe nei due edifici, ognuna implementata e integrata in modo differente.

Il vero cuore della rivoluzione green è però la città di Milano, dove nel 2020 gli edifici “green” sono circa 320 contro i 200 dello scorso anno. La città di Milano, infatti, ha manifestato da tempo la propria volontà di trasformarsi in un modello di città sostenibile e smart, tanto che viene definita la città del Rinascimento Green: sono molti infatti gli edifici provvisti di certificazione ambientale LEED o BREEAM. Già nel 2019 infatti Milano è stata riconosciuta da GBC Italia tra le prime cinque città in Europa, insieme a Madrid, Stoccolma, Francoforte e Istanbul, per numero di edifici sostenibili certificati LEED. Milano, infatti, non si limita alla progettazione di edifici ma punta anche alla progettazione di interi quartieri sostenibili, come il caso di Santa Giulia che è il primo progetto di sviluppo urbano in Italia ad avere la certificazione LEED Neighbourhood Development.

Una ricerca effettuata da REbuild Italia (piattaforma per l’innovazione delle costruzioni italiane), con CBRE (leader al mondo nella consulenza immobiliare) e GBC Europe sul valore degli immobili certificati LEED¹¹ dimostra come il mercato premi gli immobili certificati riconoscendone la sostenibilità come elemento decisivo. Dallo studio risulta infatti che l’aumento di valore di un immobile è riconosciuto dal 7 all’11 % in più rispetto agli immobili privi di certificazione. Inoltre, l’indagine condotta sul mercato milanese ha evidenziato come un edificio LEED venga collocato sul mercato in tempi più rapidi. Questi due aspetti risultano invitanti per gli investitori che scegliendo la certificazione LEED non solo danno un segnale forte optando per una scelta etica ma hanno opportunità per superiori prestazioni economiche e finanziarie.

2.2 Benefici LEED

LEED ha l’arduo ruolo di far coesistere la sfida ambientale e le necessità del mercato competitivo. La certificazione LEED è riconosciuta a livello globale come simbolo di sostenibilità e significa leadership, innovazione e responsabilità sociale. Milioni di persone nel mondo oggi vivono, lavorano e studiano nell’ambito degli edifici certificati LEED. Le certificazioni energetico-ambientali, come LEED, sono un passo significativo e concreto di volontà di cambiamento da parte del mondo dell’edilizia. I benefici di un edificio certificato LEED, infatti, sono molteplici e possono essere raggruppati in tre categorie: economici, sociali e ambientali.

➤ Benefici economici: nonostante spesso vi sia un costo iniziale di progettazione e costruzione maggiore, per i costruttori un edificio certificato LEED significa competitività e acquisizione di fama nel mercato della sostenibilità. Un edificio certificato è conveniente per i proprietari perché garantisce un costo di affitto più elevato della media ma è vantaggioso anche per gli inquilini perché, oltre ad essere attento verso l’ambiente, garantisce una riduzione dei costi di manutenzione e una

¹¹ GBC Italia, *LEED: la certificazione aumenta il valore dell’immobile fino all’11%*, 27 Settembre 2018, <https://gbcitalia.org/-/rebuild> (ultimo accesso 21/08/2020)

riduzione di consumi e costi legati all'energia e all'utilizzo dell'acqua. Dal sito USGBC è possibile notare i risparmi nei diversi ambiti ottenuti tra il 2015 e il 2018 negli edifici certificati LEED:

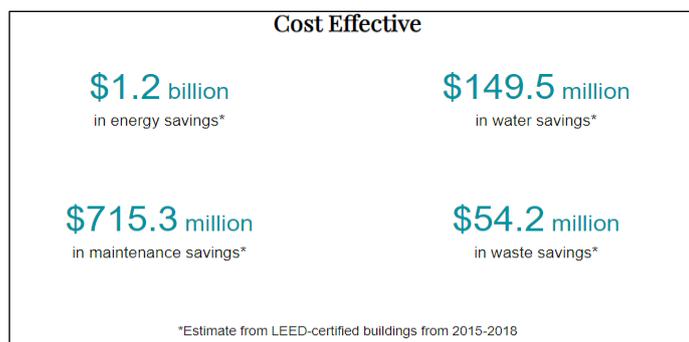


Figura 8 Stima del risparmio di denaro degli edifici certificati LEED dal 2015 al 2018. [17]

- **Benefici legati al benessere:** LEED garantisce la realizzazione di ambienti più salutarci con aria pulita, accesso alla luce del giorno e senza sostanze inquinanti derivanti da finiture interne. USGBC sostiene che da analisi effettuate dai loro impiegati gli ambienti LEED garantiscano una maggiore produttività degli occupanti e un maggior benessere generale. Inoltre, a livello globale, LEED contribuisce a ridurre l'effetto dell'inquinamento realizzando edifici altamente efficienti dal punto di vista energetico.
- **Benefici ambientali:** i benefici ambientali sono molteplici. Innanzitutto, la riduzione di emissioni di CO₂ e la riduzione di energia consumata. Da uno studio¹² risulta infatti che la riduzione delle emissioni di CO₂ rispetto ad un edificio standard si aggira intorno al 34% e il risparmio di energia attorno al 25%. Inoltre, si garantisce un risparmio notevole di acqua consumata e una riduzione dei rifiuti prodotti. USGBC prospetta che al 2030 i progetti LEED avranno evitato la produzione di 540 milioni di tonnellate di rifiuti, questo grazie anche all'utilizzo di materiali riciclabili e rinnovabili. Inoltre, LEED si occupa anche della scelta dell'ubicazione dell'edificio che deve garantire un accesso comodo ai mezzi pubblici e deve essere vicino a negozi e servizi primari, in modo da ridurre l'utilizzo delle automobili e di conseguenza le emissioni inquinanti. Inoltre, un Green Building non solo è in grado di ridurre l'impatto negativo sull'ambiente ma spesso anche di avere un impatto positivo, generando esso stesso l'energia di cui necessita.

¹² *Re-Assessing Green Building Performance: A Post Occupancy Evaluation of 22 GSA Buildings.* Kim M. Fowler. Emily M. Rauch. Jordan W. Henderson

2.3 Protocollo LEED v4

Il protocollo di certificazione LEED v4, l'ultimo uscito, in vigore da novembre 2016, è ancora più flessibile dei precedenti e adotta un approccio alla progettazione del tipo performance-based. Per rendere flessibile il sistema LEED, sono stati generati diversi sistemi di classificazione in funzione della tipologia di progetto. Il sistema di rating LEED v4 definisce le seguenti tipologie:

- *Building Design + Construction (BD+C)* si applica a nuove costruzioni o a ristrutturazioni importanti di edifici esistenti. All'interno del sistema di classificazione si effettua poi una differenza tra:
 - *New Construction*: si riferisce a tutte le nuove costruzioni e ristrutturazioni importanti, inclusi miglioramenti dell'impianto HVAC, dell'involucro e degli interni;
 - *Core & Shell*: si riferisce a progetti in cui gli sviluppatori si occupano esclusivamente della progettazione e della costruzione degli impianti meccanici, elettrici, idrici e del sistema antincendio ma non della sistemazione degli interni da parte di affittuari;
 - *Schools*: si riferisce a edifici ad uso scolastico dotati di aule per l'insegnamento;
 - *Retail*: si riferisce agli edifici dedicati alla vendita al pubblico, da banche a ristoranti a negozi a grandi magazzini;
 - *Hospitality*: si riferisce a hotel o altri edifici che prevedono la permanenza temporanea di persone;
 - *Warehouse & Distribution Centers*: si riferisce a edifici utilizzati come magazzini;
 - *Healthcare*: si riferisce a ospedali che lavorano 24h su 24, sette giorni su sette, e provvedono a fornire cure ai pazienti.
- *Interior Design + Construction (ID+C)* si applica a progetti che si occupano della sistemazione degli interni. Si può applicare a edifici commerciali, negozi e hotel.
- *Building Operation + Maintenance (O+M)* si applica a edifici esistenti che sono sottoposti a progetti di miglioramento o che prevedono piccoli ampliamenti. Permette di analizzare attentamente il funzionamento dell'edificio concentrandosi sulle performance sostenibili. Si può applicare a interi edifici esistenti o a porzioni di spazi interni in edifici esistenti.
- *Neighborhood Development (ND)* è dedicato alla creazione di quartieri migliori, più sostenibili e connessi. Si riferisce alla progettazione di quartieri nuovi o vicini al completamento o completati negli ultimi tre anni.
- *Homes* è dedicato alla realizzazione di edifici residenziali di vario tipo, da monofamiliari a plurifamiliari.

- *Cities and communities* è dedicato alla realizzazione di intere città o parti della città. Permette di misurare e gestire il consumo di acqua, di energia, produzione di rifiuti, trasporto.

Per tutti gli edifici certificati BD+C o O+M è possibile, inoltre, accedere alla certificazione LEED Zero che verifica il raggiungimento dell'obiettivo zero nelle emissioni di CO₂ o nel consumo delle risorse.

2.3.1 Struttura del sistema di classificazione

Un edificio per ottenere la certificazione LEED e quindi soddisfare la definizione di Green Building deve misurare le proprie prestazioni secondo alcuni criteri di performance divisi in categorie. Le categorie del protocollo LEED v4 sono otto:



Location and Transportation: La scelta dell'ubicazione dell'edificio influisce su una grande quantità di fattori ambientali, incluso l'uso di energia, l'utilizzo e la conservazione del suolo, la gestione delle acque piovane, l'accesso al trasporto pubblico. Viene premiata la scelta del sito in una zona già edificata preservando così l'ambiente naturale esistente e sfruttando le infrastrutture, i servizi della comunità e il trasporto pubblico già disponibili. Il progetto deve permettere la possibilità di utilizzare mezzi alternativi all'automobile, ad esempio, realizzando dei parcheggi per le biciclette e costruendo l'edificio vicino ad una pista ciclabile, oppure realizzando dei parcheggi preferenziali per veicoli verdi.



Sustainable Sites: premia le decisioni riguardanti l'ambiente circostante l'edificio, con crediti che si focalizzano sul ripristino degli elementi presenti nel sito, integrazione del sito con l'ecosistema locale e regionale, preservare la biodiversità dei sistemi naturali. Si deve minimizzare l'inquinamento della costruzione, ridurre l'effetto isola di calore e l'inquinamento luminoso.



Water Efficiency: pone l'attenzione sull'utilizzo dell'acqua basandosi sull'approccio "efficiency first" per ridurre il consumo di acqua potabile e per premiare l'utilizzo di acque non potabili. La categoria include tre principali componenti: uso di acqua indoor, acqua per irrigazione e misurazione dell'acqua.



Energy and Atmosphere: pone l'attenzione sulla riduzione del consumo di energia, sull'utilizzo di strategie efficienti e di risorse rinnovabili. L'efficienza energetica di un Green Building inizia dalla riduzione dei fabbisogni di energia scegliendo l'orientamento adeguato e l'involucro opaco e trasparente con le caratteristiche più adatte. Si scelgono poi strategie per ottimizzare l'utilizzo delle risorse e contemporaneamente garantire il soddisfacimento dei setpoint termici.



Materials and Resources: pone l'attenzione sul minimizzare l'energia e gli impatti legati all'estrazione, al trattamento, al trasporto, alla manutenzione e allo stoccaggio dei materiali. I crediti sono pensati a supporto di un approccio del tipo ciclo vita che migliori le performance e promuova l'efficienza delle risorse.



Indoor Environmental Quality: pone l'attenzione sulla qualità dell'ambiente interno dal punto di vista termico, visivo, acustico e della qualità dell'aria. L'obiettivo è garantire un elevato benessere a 360 gradi agli occupanti.



Innovation: permette di valutare la sostenibilità nel caso in cui si utilizzino nuove tecnologie e strategie o nel caso in cui altre strategie non contenute nei crediti LEED vengano utilizzate e meritino una considerazione dal punto di vista della sostenibilità.



Regional Priority: pone l'attenzione sui problemi locali in modo da incoraggiare i team a concentrarsi sulle priorità dell'ambiente locale.

Tutti i progetti devono rispettare una serie di prerequisiti minimi (MPR, Minimum Program Requirements), alcuni comuni a tutti i sistemi di classificazione, altri specifici. Tali prerequisiti sono obbligatori per poter accedere alla certificazione. Gli MPR comuni a tutti i progetti sono:

- L'edificio deve essere ubicato in luogo permanentemente. LEED valuta l'edificio e gli spazi in relazione all'ambiente circostante, pertanto è fondamentale che il progetto LEED sia valutato come struttura permanente;
- Il progetto LEED deve considerare dei confini ragionabili per permettere una valutazione accurata;
- Il progetto deve soddisfare i requisiti in merito alle dimensioni. Nel caso di BD+C il progetto LEED deve includere almeno 93 m² di area lorda.

All'interno di ogni singolo sistema di classificazione, ciascuna categoria ha dei propri prerequisiti che devono essere necessariamente rispettati e non servono per guadagnare punti. In primis quindi qualsiasi progetto LEED deve iniziare con la verifica del soddisfacimento di tutti i prerequisiti. Per ottenere i punti poi è necessario soddisfare i crediti che si ritengono opportuni facenti parte delle categorie sopra elencate, che definiscono ognuno un diverso aspetto della sostenibilità. I crediti sono facoltativi, ogni progetto può soddisfare i crediti che desidera per raggiungere il livello della certificazione ambita. Questo è un altro punto a favore della certificazione LEED che non obbliga a rispettare tutti i crediti presenti nel protocollo ma dà la libertà ad ogni singolo progetto di trovare la combinazione più adatta al raggiungimento del punteggio per la certificazione.

Il sistema di classificazione LEED è basato su una scala di 100 punti con 10 punti addizionali, per un totale massimo di 110 punti. Esistono quattro livelli di certificazione LEED conseguibili in base al livello di punteggio finale ottenuto:

- Certified: 40-49 punti
- Silver: 50-59 punti
- Gold: 60-79 punti
- Platinum: più di 80 punti.



Figura 9 Livelli di certificazione LEED

In conclusione, quindi ogni progetto deve soddisfare tutti i prerequisiti del Minimum Program Requirements, soddisfare tutti i prerequisiti di ogni categoria e soddisfare una combinazione di crediti che permetta di raggiungere il punteggio desiderato per la certificazione.

I punti ottenibili non sono uguali per tutte le categorie, si dà maggior peso a seconda della possibilità di quel credito di impattare sull'ambiente e sulla salute umana. Ad esempio, per il sistema LEED BD+C New Construction, i punti che si possono ottenere sono suddivisi come indicato nell'immagine seguente.

LEED v4 for BD+C: New Construction and Major Renovation		Project Checklist		Project Name:	
				Date:	
Y	?	N			
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Credit	Integrative Process	1
0 0 0 Location and Transportation 16					
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Credit	LEED for Neighborhood Development Location	16
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Credit	Sensitive Land Protection	1
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Credit	High Priority Site	2
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Credit	Surrounding Density and Diverse Uses	5
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Credit	Access to Quality Transit	5
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Credit	Bicycle Facilities	1
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Credit	Reduced Parking Footprint	1
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Credit	Green Vehicles	1
0 0 0 Sustainable Sites 10					
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Prereq	Construction Activity Pollution Prevention	Required
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Credit	Site Assessment	1
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Credit	Site Development - Protect or Restore Habitat	2
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Credit	Open Space	1
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Credit	Rainwater Management	3
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Credit	Heat Island Reduction	2
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Credit	Light Pollution Reduction	1
0 0 0 Water Efficiency 11					
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Prereq	Outdoor Water Use Reduction	Required
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Prereq	Indoor Water Use Reduction	Required
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Prereq	Building-Level Water Metering	Required
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Credit	Outdoor Water Use Reduction	2
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Credit	Indoor Water Use Reduction	6
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Credit	Cooling Tower Water Use	2
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Credit	Water Metering	1
0 0 0 Energy and Atmosphere 33					
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Prereq	Fundamental Commissioning and Verification	Required
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Prereq	Minimum Energy Performance	Required
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Prereq	Building-Level Energy Metering	Required
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Prereq	Fundamental Refrigerant Management	Required
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Credit	Enhanced Commissioning	6
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Credit	Optimize Energy Performance	18
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Credit	Advanced Energy Metering	1
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Credit	Demand Response	2
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Credit	Renewable Energy Production	3
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Credit	Enhanced Refrigerant Management	1
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Credit	Green Power and Carbon Offsets	2
0 0 0 Materials and Resources 13					
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Prereq	Storage and Collection of Recyclables	Required
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Prereq	Construction and Demolition Waste Management Planning	Required
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Credit	Building Life-Cycle Impact Reduction	5
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Credit	Building Product Disclosure and Optimization - Environmental Product Declarations	2
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Credit	Building Product Disclosure and Optimization - Sourcing of Raw Materials	2
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Credit	Building Product Disclosure and Optimization - Material Ingredients	2
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Credit	Construction and Demolition Waste Management	2
0 0 0 Indoor Environmental Quality 16					
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Prereq	Minimum Indoor Air Quality Performance	Required
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Prereq	Environmental Tobacco Smoke Control	Required
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Credit	Enhanced Indoor Air Quality Strategies	2
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Credit	Low-Emitting Materials	3
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Credit	Construction Indoor Air Quality Management Plan	1
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Credit	Indoor Air Quality Assessment	2
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Credit	Thermal Comfort	1
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Credit	Interior Lighting	2
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Credit	Daylight	3
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Credit	Quality Views	1
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Credit	Acoustic Performance	1
0 0 0 Innovation 6					
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Credit	Innovation	5
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Credit	LEED Accredited Professional	1
0 0 0 Regional Priority 4					
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Credit	Regional Priority: Specific Credit	1
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Credit	Regional Priority: Specific Credit	1
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Credit	Regional Priority: Specific Credit	1
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Credit	Regional Priority: Specific Credit	1
0 0 0 TOTALS					Possible Points: 110
					Certified: 40 to 49 points, Silver: 50 to 59 points, Gold: 60 to 79 points, Platinum: 80 to 110

Figura 10 Scorecard LEED. [17]

La scorecard sopra proposta è fornita da LEED Online come foglio Excel e risulta particolarmente utile nelle fasi iniziali per decidere su quali crediti porre l'attenzione e nelle fasi seguenti per fare il punto della situazione sui crediti ottenibili. Dalla scorecard è possibile notare come i punteggi tra le diverse categorie siano molto differenti tra loro: proprio per questo durante la fase iniziale di design è necessario scegliere accuratamente su quali crediti concentrare il proprio lavoro per poter raggiungere il punteggio LEED che si vuole ottenere. In particolare, si hanno 33 punti per la categoria "Energy and Atmosphere", quasi un terzo dei punti totali, di cui ben 18 sono ottenibili soddisfacendo il credito "Optimize Energy Performance". Appurata l'importanza che viene attribuita a tale credito, l'analisi del caso studio si concentrerà soprattutto sul soddisfacimento di quest'ultimo.

2.4 Il processo di certificazione

Il processo di certificazione è costituito da molteplici step. Il progetto deve innanzitutto essere registrato online su leadonline.com, dopodiché al team vengono consegnati ulteriori strumenti per affrontare la certificazione. La fase di registrazione comporta una discreta spesa che dipende dal tipo di sistema di classificazione e dalle dimensioni del progetto. Il team e il project administrator possono iniziare quindi a raccogliere le informazioni necessarie al soddisfacimento dei crediti LEED. Ciascun prerequisito o credito richiede una serie di documenti che devono essere completati per procedere con il processo di candidatura alla certificazione. Tutta la documentazione prodotta deve essere caricata su LEED Online dal LEED Project Administrator per essere sottoposta alla revisione.



Figura 11 Step del processo di certificazione LEED

Una volta che sono stati effettuati i pagamenti necessari inizia il processo di revisione. Il processo di revisione, ad eccezione del sistema di classificazione O&M, può essere sviluppato seguendo due vie diverse:

- Combined design and Construction review: la revisione combinata per i crediti di progettazione e costruzione consiste in un'unica revisione che viene inviata inizialmente in fase preliminare e poi in fase definitiva.
- Split design and Construction review: il percorso di revisione separata è composto da quattro fasi. La prima consiste nella revisione preliminare dei crediti di progettazione in modo da valutare la potenzialità del soddisfacimento di alcuni crediti relativi alla fase di

progettazione, prima del completamento del progetto. La seconda fase è opzionale e consiste in una replica della revisione preliminare dei crediti di progettazione che deve includere tutta la documentazione rivista. La terza fase consiste nella presentazione della documentazione dei crediti di costruzione durante la quale si invia la documentazione completa e definitiva. L'ultima fase è opzionale e consiste in una eventuale replica ai chiarimenti richiesti da LEED nella fase precedente. Questo tipo di revisioni è più conveniente perché permette di avere nei vari step un'indicazione da USGBC su quali crediti possano effettivamente essere valutati o su eventuali errori effettuati.

Durante la revisione i crediti/requisiti vengono aggiornati in base ai progressi fatti: un credito può essere guadagnato, negato, possono essere richieste maggiori informazioni o può essere anticipato, ossia il team assume che sia possibile ottenere quel credito. Una volta conclusa la revisione, apportate le modifiche richieste e pagato le tasse, un LEED reviewer effettua una revisione finale e registra formalmente la richiesta di certificazione. USGBC a quel punto fornirà la certificazione ufficiale con un livello basato sul numero di crediti soddisfatti.

LEED fornisce la possibilità di seguire dei corsi e sostenere degli esami che garantiscano la conoscenza approfondita in merito alla progettazione di edifici green e alla certificazione LEED. Una persona può ottenere i seguenti titoli:

- LEED Green Associate: qualifica che denota una conoscenza di base dei principi dei Green Buildings e di LEED, ottenibile a seguito di un apposito esame;
- LEED AP: per ottenere la qualifica di LEED AP (Accredited Professional) è necessario essere un LEED Green Associate e sostenere un ulteriore apposito esame che permette la specializzazione in una delle tipologie di sistema di classificazione sopra descritte. Essere un professionista accreditato significa possedere una conoscenza profonda della progettazione green e del sistema di rating LEED. Il LEED AP è tipicamente la figura che si occupa di guidare il team durante le fasi di progettazione;
- LEED fellow: è una carica onoraria che si ottiene se, in quanto LEED AP, si è dimostrato un'eccezionale padronanza nella conoscenza tecnica e nelle skills, si è dato un contributo notevole nell'insegnamento, nella ricerca o nel mentoring. I LEED Fellows possiedono una leadership esemplare e una evidente competenza nella progettazione dei Green Buildings e nella sostenibilità.

3. I crediti analizzati

3.1 Energy and Atmosphere (EA)

La categoria Energy and Atmosphere in tutti i sistemi di classificazione LEED contiene la maggior parte dei punti disponibili. Viene data grande importanza alla riduzione del consumo di energia in quanto strettamente correlata alla produzione di inquinanti e anidride carbonica, maggiori responsabili del surriscaldamento globale e dell'inquinamento atmosferico. La categoria Energy and Atmosphere integra al suo interno tutti i principi promossi dal goal 7 "Affordable and clean energy". In senso lato la categoria ingloba inoltre una serie di principi espressi negli SDGs come il goal 12 "Responsible consumption and production" e il goal 13 "Climate action".

L'approccio all'intero edificio nella progettazione permette non solo di risparmiare energia, ma anche di ridurre la taglia dei generatori di caldo/freddo. Negli USA gli edifici sono responsabili del 36% degli usi finali di energia, del 65% del consumo di elettricità e del 36% dell'emissione dei gas serra¹³; in Italia la situazione è analoga, gli usi civili di energia corrispondono al 37,6% dell'energia utilizzata negli impieghi finali¹⁴.

L'obiettivo dell'edilizia sostenibile è in primis quello di ridurre il fabbisogno di energia termica ed elettricità degli edifici garantendo al contempo le condizioni di comfort interne. Per valutare la necessità di energia di un edificio si possono effettuare diverse analisi, più o meno approfondite, come per esempio la diffusa diagnosi energetica. La decisione dell'orientazione dell'edificio incide notevolmente sul fabbisogno di energia perché comporta la determinazione dell'esposizione al sole, al vento e quindi la necessità di riscaldamento, raffrescamento e illuminazione. Ovviamente un'esposizione a sud garantisce la maggiore presenza di luce diurna nell'edificio ma al contempo causa un aumento dei costi legati al raffrescamento. Ogni progetto deve valutare tutte le possibilità e scegliere la condizione che apporta benefici maggiori.

La categoria ha inoltre una sezione dedicata ad affrontare i temi del buco dell'ozono e del cambiamento climatico. Fin dagli anni '70 l'utilizzo di clorofluorocarburi è stato regolamentato a causa del suo effetto distruttivo sullo strato di ozono. Nel 1987 è stato firmato il Protocollo di Montreal, un trattato internazionale i cui firmatari si impegnavano della riduzione dell'utilizzo di

¹³ Green Building Education Services, *LEED Green Associate exam preparation study guide: LEED v4 Edition*, GBES

¹⁴ Ministero dello Sviluppo Economico: Direzione Generale per le Infrastrutture e la Sicurezza dei Sistemi Energetici e Geominerari, *La situazione energetica nazionale nel 2019*, MISE-DGISSEG, giugno 2020

quei materiali che causavano l'esaurimento dell'ozono. Per questo, per quanto riguarda il raffrescamento, LEED non permette ai nuovi edifici di utilizzare refrigeranti a base di CFC.

Anche la riduzione dell'utilizzo di acqua può indirettamente influire sul consumo di energia, anche se i due sembrerebbero indipendenti: infatti una maggiore portata di acqua significa un aumento del consumo di energia per riscaldarla, pomparla e trattarla.

Il fulcro della categoria Energia e Atmosfera è nell'efficienza energetica, ossia nell'uso di tecnologie e strategie che richiedano la minor quantità possibile di energia fornendo le stesse prestazioni. A questo proposito l'involucro dell'edificio ha un ruolo chiave perché è fondamentale per garantire il comfort degli occupanti. Per involucro dell'edificio si intendono pareti e solai, tetti, finestre e porte che determinano la struttura attraverso cui passa il flusso di calore dall'interno dell'edificio verso l'esterno e viceversa. Nel 2005 US Department of Energy (DOE) ha stimato che il 40% dell'energia utilizzata per scaldare e raffrescare un edificio medio viene persa per effetto delle infiltrazioni di aria nell'involucro. A livello nazionale, il parco edilizio italiano è molto vecchio: più della metà degli edifici esistenti è stata costruita prima degli anni '60, periodo in cui non si poneva l'adeguata attenzione alla progettazione dell'involucro.

Oltre all'involucro si deve effettuare un'accurata scelta del sistema HVAC, che non influisce solo sui consumi ma anche sulla qualità interna dell'ambiente. Infatti, può influire sul comfort, sulla qualità dell'aria e quindi sulla salute e sulla produttività degli occupanti. Ad esempio, gli impianti devono essere dotati di filtri per purificare l'aria e proteggere le parti meccaniche dalla polvere.

Altro aspetto chiave della categoria è l'uso di energia rinnovabile che spesso è incentivata a livello nazionale. Per la certificazione LEED l'energia rinnovabile può provenire sia dal sito che da una sorgente esterna. Nel caso di generazione in situ si possono avere pannelli solari, tipicamente integrati sui tetti, o impianti solari termici. Il calore del sole può inoltre essere utilizzato attraverso delle strutture passive che permettono di immagazzinarlo e distribuirlo all'interno dell'edificio quando e dove necessario. L'utilizzo di sistemi solari passivi e geotermici è sostenuto da LEED ma non è incluso nel credito riguardante l'energia prodotta da fonti rinnovabili. Queste tecnologie, infatti, riducono il fabbisogno di energia ma non riguardano l'utilizzo di fonti rinnovabili. L'energia rinnovabile prodotta da sorgenti esterne può provenire da campi eolici, idroelettrico, campi fotovoltaici o risorse geotermiche terze. L'utilizzo di energia rinnovabile, anche se non prodotta in situ, è premiata perché riduce il consumo di fonti fossili e quindi la produzione di CO₂.

Di importanza rilevante è anche la progettazione del sistema di illuminazione che non solo contribuisce al consumo di energia elettrica, ma ha anche un ruolo chiave nel benessere e nella produttività degli occupanti. Si noti che oltre all'energia spesa per far funzionare il sistema di

illuminazione, è necessario consumare ulteriore energia per compensare il calore generato dalle lampade nel periodo estivo. Sfruttando al massimo la luce diurna è possibile ridurre notevolmente il tempo di funzionamento del sistema di illuminazione e quindi ridurre tutti i consumi ad esso correlati, migliorando al contempo il benessere degli occupanti. L'utilizzo di lampade efficienti, come i LED che hanno un costo iniziale più alto ma una durata e una efficienza elevata, è un punto di partenza fondamentale per abbattere i consumi. Inoltre, è possibile utilizzare dei controllori in modo da far accendere le luci solamente quando necessario, a degli orari prestabiliti o quando vi è occupazione. Spesso questi controllori vengono utilizzati negli edifici pubblici o terziari nella zona bagni, in modo tale da far accendere le luci solamente in presenza di persone.

Per considerare tutti gli aspetti sopra citati e realizzare una simulazione dell'intero edificio è necessario realizzare una modellazione energetica dell'edificio con un software apposito. Per LEED se si intende effettuare una simulazione dell'intero edificio è necessario utilizzare dei software approvati dall'USGBC. Nella seguente trattazione verranno approfonditi i crediti e i requisiti inerenti alla simulazione energetica dinamica dell'edificio utilizzando il software Design Builder.

3.1.1 Prerequisito 2: Minimum Energy Performance

Uno dei prerequisiti obbligatori della categoria Energia e Atmosfera consiste nel dimostrare che l'edificio raggiunge un livello minimo di efficienza prefissato. Per soddisfare il prerequisito si possono adottare tre approcci diversi:

- **Opzione 1. Simulazione energetica globale dell'edificio.** Si deve dimostrare un miglioramento percentuale dell'indice di prestazione energetica dell'edificio del Proposed Building, ossia dell'edificio di progetto, rispetto al corrispondente edificio di riferimento, Baseline Building. Il miglioramento percentuale deve essere pari al 5% per nuove costruzioni, 3% per ristrutturazioni e 2% per progetti Core and Shell. Le prestazioni del Baseline Building devono essere calcolate mediante una simulazione energetica in accordo con le indicazioni della norma ANSI/ASHRAE/IESNA 90.1-2010, Appendice G inclusi Errata. Importante notare che gli edifici in progetto devono rispettare la soglia minima di risparmio percentuale senza considerare i sistemi di energia rinnovabili. L'edificio di progetto deve soddisfare tutti i requisiti richiesti dalla ANSI/ASHRAE/IESNA 90.1-2010 inclusi Errata (o da una norma equivalente approvata da USGBC o da una norma locale nel caso in cui sia più restrittiva di quella indicata), deve includere tutti i consumi e i costi di energia interni e connessi all'edificio e deve essere comparato con il Baseline Building.
- **Opzione 2. Conformità prescrittiva: ASHRAE 50% Advanced Energy Design Guide.** Rispettare le disposizioni obbligatorie e prescrittive della norma ANSI/ASHARE/IESNA 90.1-2010

inclusi Errata. Risulta quindi necessario rispettare tutti i requisiti previsti per gli impianti HVAC e per il riscaldamento dell'ACS, tra cui efficienze, economizzatori, ventilazione... Tali parametri sono indicati nel capitolo 4 della guida ASHARE 50% Advanced Energy Design Guide dove per ogni zona climatica vengono indicate le disposizioni obbligatorie in funzione della destinazione d'uso dell'edificio.

- Opzione 3. Conformità prescrittiva: Advanced Buildings TM Core Performance Guide. Rispettare le disposizioni obbligatorie e prescrittive della norma ANSI/ASHARE/IESNA 90.1-2010 inclusi Errata. Osservare quanto descritto nella sezione 1: Design Process Strategies e nella Sezione 2: Core Performance e le tre strategie indicate nella sezione 3: Enhanced Performance Strategies, di seguito indicate: 3.5 Supply Air Temperature Reset, 3.9 Premium Economizer Performance, 3.10 Variable speed control. L'opzione 3 può essere utilizzata esclusivamente per progetti di dimensione inferiore a 9.290 metri quadrati. Inoltre, progetti di ospedali, magazzini e laboratori non possono scegliere l'opzione 3.

Nella seguente trattazione si sceglierà l'Opzione 1 poiché, anche se più dispendiosa in termini di tempo e denaro, permette di effettuare un'analisi più efficiente delle performance e può essere utilizzata anche per la valutazione del credito Optimize Energy Performance.

3.1.2 Credito EA: Optimize Energy Performance

Il credito Ottimizzazione delle Prestazioni Energetiche può valere da 1 a 20 punti a seconda della tipologia di sistema di classificazione scelto nell'ambito del Building Design + Construction; nel caso di New Construction tale credito può avvalersi di un massimo di 18 punti. L'obiettivo è il miglioramento delle prestazioni energetiche oltre quanto definito dal prerequisito sopra descritto. Stabilito un obiettivo di prestazione energetica in fase di progettazione iniziale in termini di kWh/m² anno di energia, è possibile optare per una delle seguenti scelte:

- Opzione 1: Simulazione energetica dell'intero edificio. Scegliendo questa opzione che è più completa ma che richiede un lavoro più corposo a monte, si possono ottenere fino a 18 punti nella gran parte delle categorie. L'opzione richiede di effettuare delle simulazioni energetiche in fase di progetto per verificare quali strategie è meglio utilizzare per ridurre i carichi e per migliorare l'efficienza del sistema edificio-impianto. In particolare, per ottenere i punti è necessario dimostrare un miglioramento rispetto all'edificio di riferimento seguendo quanto definito nel prerequisito Minimum Energy Performance. L'entità del miglioramento e il punteggio assegnato variano a seconda del tipo di sistema di classificazione che si è scelto, come definito nella tabella seguente.

Tabella 1 Tabella dei punteggi ottenibili scegliendo l'Opzione 1 del credito EA Optimize Energy Performance

New Construction	Major Renovation	Core and Shell	Punti (eccetto Schools, Healthcare)	Punti Healthcare	Punti 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	-

- Opzione 2: Percorso prescrittivo: ASHRAE Advanced Energy Design Guide. Scegliendo questa opzione si possono ottenere fino ad un massimo di soli 6 punti. Per poter scegliere l'opzione 2 è necessario che sia stata adottata l'Opzione 2 nel prerequisito EA Prestazioni energetiche minime. Documentare la conformità con le raccomandazioni indicate nel Capitolo 4, Design Strategies and Recommendations by climate Zone della norma ASHRAE 50% Advanced Energy Design Guide and Climate Zone. A seconda del tipo della destinazione d'uso dell'edificio sono indicati i parametri da rispettare e i rispettivi punteggi acquisibili.

Anche in questo caso per la seguente trattazione si seguirà l'Opzione 1, procedendo in modo identico a quanto descritto nel prerequisito Minimum Energy Performance.

3.1.3 Credito EA: Renewable Energy Production

Il credito vale da 1 a 3 punti e mira a premiare l'utilizzo delle fonti rinnovabili riducendo così l'utilizzo di energia da combustibili fossili e i danni ambientali che ne derivano. L'utilizzo di fonti rinnovabili risulta un elemento indispensabile per guidare il cambiamento nell'edilizia. Oggi, infatti, si studiano nuove metodi per integrare pannelli solari termici e fotovoltaici nell'edificio, in modo tale da trovare l'ottimo tra estetica e efficienza. Per ottenere i punti di tale credito è necessario calcolare la percentuale di produzione energetica da fonti rinnovabili utilizzando la seguente equazione estratta da *Reference Guide for Building Design and Construction v4, U.S. Green Building Council*:

$$\%renewable\ energy = \frac{\text{costo equivalente dell'energia netta prodotta da fonti rinnovabili}}{\text{Costo totale dell'energia richiesta dall'edificio}} * 100$$

Se si è scelta l'Opzione 1 per il prerequisito EA Prestazioni energetiche minime, ossia se si è optato per l'esecuzione della simulazione dinamica computerizzata, è necessario utilizzare il consumo energetico annuale derivante da tale simulazione; altrimenti è necessario fare riferimento al database dei consumi energetici CBECS del Dipartimento dell'Energia degli Stati Uniti per stimare i consumi energetico dell'edificio. L'energia può essere prodotta in situ o no, il credito si basa sulla percentuale di possesso o sulla percentuale di utilizzo del sistema di produzione. Nella tabella seguente vengono definiti i punteggi assegnati alle diverse percentuali di energia rinnovabile:

Tabella 2 Tabella dei punteggi ottenibili per il credito EA Renewable Energy Production

Percentuale energia rinnovabile	Punti (Eccetto Core&Shell)	Punti Core&Shell
1%	1	1
3%	-	2
5%	2	3
10%	3	-

Nel caso oggetto di studio, per il quale si è scelta l'Opzione 1 del credito precedente, è possibile confrontare la quantità di energia elettrica producibile con i pannelli fotovoltaici installati sulla copertura e quella totale richiesta annualmente dall'edificio.

3.2 Indoor Environmental Quality (EQ)

Questa categoria premia tutte le decisioni del team in merito alla qualità dell'ambiente interno, che spesso nel tempo è stato trascurato. Un ambiente interno di elevata qualità garantisce il benessere degli occupanti e ne migliora la produttività, ne riduce l'assenteismo, aumenta il valore dell'edificio. Spesso la relazione tra l'ambiente interno e la salute e il comfort degli occupanti è complicata da capire: proprio per questo motivo, la sezione EQ bilancia la necessità di seguire le indicazioni prescrittive con dei crediti più orientati verso la performance. Combina quindi un approccio tradizionale con delle strategie emergenti come l'utilizzo di materiali basso-emissivi, il controllo dei contaminanti, la qualità dell'illuminazione interna, la valutazione della luce diurna e la qualità acustica. Molti dei crediti della sezione vengono valutati in base alla percentuale di superficie che soddisfa i requisiti.

La categoria Indoor Environmental Quality integra al suo interno i principi del goal 3 "Good health and wellbeing".



Figura 12 Indoor Environmental Quality. [13]

3.2.1 Credito EQ: Thermal Comfort

Il credito relativo al comfort termico vale solo 1 punto per tutte le categorie di edifici. Lo scopo è garantire determinate condizioni di comfort termico per promuovere le produttività e il benessere degli occupanti. Per benessere termoisometrico si intende la sensazione di soddisfazione che le persone provano all'interno di un ambiente circa la sensazione termica che provano. Per ottenere il punteggio è necessario soddisfare i requisiti in merito sia alla progettazione che al controllo del comfort termico. Per quanto riguarda la progettazione è possibile optare per lo standard americano ASHRAE oppure per le normative UNI, CEN, ISO. In particolare, per la normativa europea si fa riferimento agli standard:

- UNI EN ISO 7730-2006: Determinazione analitica e interpretazione del benessere termico mediante calcolo degli indici PMV e PPD;
- UNI EN 15251-2008: Criteri per la progettazione dell'ambiente interno e per la valutazione della prestazione energetica degli edifici, in relazione alla qualità dell'aria interna- sezione A.2.

Per edifici climatizzati meccanicamente è necessario fare riferimento alla norma UNO EN ISO 7730-2006: per l'edificio di progetto si deve selezionare l'adeguata categoria e soglia di comfort indicata nella tabella estratta dalla norma.

TABLE 1. Comparison of comfort acceptability ranges, ISO 7730-2005 and EN 15251-2007

Category		Description	Allowable predicted mean vote	Allowable predicted percentage dissatisfied
ISO 7730-2005	EN 15251-2007			
A	I	Recommended for spaces occupied by very sensitive and fragile persons with special requirements (very young children, elderly, ill)	$-0.2 < PMV < 0.2$	< 6%
B	II	Suitable for most new buildings and renovations	$-0.5 < PMV < 0.5$	< 10%
C	III	Suitable for existing buildings	$-0.7 < PMV < 0.7$	< 15%
	IV	Values other than above; acceptable for only part of year	$PMV < -0.7$ or $PMV > 0.7$	> 15%

PMV – predicted mean vote (Index of thermal comfort) PPD – predicted percentage (of people) dissatisfied
 Source: This excerpt is adapted and modified from ISO 7730:2005 and EN 15251:2007 with the permission of ANSI on behalf of ISO.
 © ISO 2013 – All rights reserved.

Tabella 3 Tabella di confronto del range di comfort tra ISO 7730-2005 e EN 15251-2007.¹⁵

Successivamente è necessario impostare i parametri come indicato nella norma e determinare gli indici PMV (Predicted Mean Vote) e il PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied), definiti secondo il modello di Fanger. Il modello di comfort termico di Fanger è adatto ad ambienti chiusi e climatizzati e vede le persone come soggetti passivi, ossia che non svolgono ruoli attivi nella modificazione delle condizioni termiche. Il PMV è un indice che esprime la sensazione media di comfort degli occupanti di un ambiente. L'indice è funzione di sei variabili: temperatura ambiente, umidità relativa, velocità dell'aria, temperatura media radiante, isolamento termico del vestiario e livello di attività metabolica. Tutte queste variabili vengono considerate durante la simulazione dinamica su Design Builder che permette di calcolare il valore del PMV. Il PPD tiene conto dell'insoddisfazione degli occupanti legata a cause di discomfort come correnti d'aria, elevata differenza di temperatura verticale, temperatura del pavimento troppo elevata o troppo bassa e asimmetrie delle temperature radianti. Se il valore dell'indice PPD rientra nel range indicato nella tabella per la classe B, allora si può considerare che l'ambiente sia sufficientemente confortevole.

¹⁵ U.S. Green Building Council, *Reference Guide for Building Design and Construction v4*, 01 Ottobre 2014, U.S. Green Building Council

Oltre al rispetto delle indicazioni definite nelle norme sopracitate è necessario garantire il controllo del comfort termico mediante l'installazione di sistemi di controllo individuali per almeno il 50% degli spazi occupati individualmente e di sistemi di controllo di gruppo per tutti gli ambienti condivisi da più occupanti. Per sistema di controllo del comfort termico si intende uno strumento che consenta agli occupanti di regolare uno dei parametri tra temperatura dell'aria, temperatura operativa, velocità dell'aria o umidità.

3.2.2 Credito EQ: Daylight

Il credito relativo alla luce naturale permette di ottenere da 1 ad un massimo di 3 punti. Lo scopo è garantire un contatto con l'ambiente esterno agli occupanti e ridurre l'utilizzo dell'illuminazione artificiale. Un corretto apporto di luce naturale infatti garantisce un adeguato comfort visivo e psicologico agli occupanti e permette di ridurre i consumi di energia elettrica per l'illuminazione naturale. Per soddisfare i requisiti del credito è possibile scegliere tra diverse opzioni:

- **Opzione 1. Simulazione:** autonomia di luce naturale degli spazi ed esposizione annuale alla luce diurna. Attraverso una simulazione annuale si deve dimostrare che l'indice di autonomia degli spazi in condizione di luce naturale (Spatial Daylight Autonomy, $sDA_{300/50\%}$) sia pari ad almeno il 55%, 75% o 90%. Per effettuare la valutazione si utilizza esclusivamente la superficie regolarmente occupata, eccezion fatta per i progetti Healthcare dove si deve fare riferimento all'area perimetrale.

Tabella 4 Tabella dei punteggi ottenibili scegliendo l'Opzione 1 del credito EQ Daylight

Per tutte le categorie eccetto Healthcare		Healthcare	
sDA (per superf. occupata regolarmente)	Punti	sDA (per superficie perimetrale)	Punti
55%	2	75%	1
75%	3	90%	2

Inoltre, si deve dimostrare per mezzo di una simulazione annuale, che l'indice di esposizione annuale alla luce naturale $ASE_{1000,250}$ (Annual Sunlight Exposure di 1000 lux per più di 250 h/anno) è inferiore 10%, per evitare un discomfort visivo. Per effettuare la valutazione si utilizza la superficie occupata che soddisfa il criterio per l'indice $sDA_{300/50\%}$. I reticoli di calcolo per i due parametri devono avere dimensione inferiore a 0,6 metri di lato e disposti in tutta l'area regolarmente occupata ad un'altezza del piano di lavoro pari a 0,76 m. L'analisi deve essere effettuata a intervalli orari sulla base dei dati metereologici di un anno tipo e deve includere partizioni interne permanenti.

- Opzione 2: Simulazione: calcolo dell'illuminamento. Attraverso una simulazione si deve dimostrare che i livelli di illuminamento all'altezza del piano di lavoro siano compresi tra i 300 e i 3000 lux tra le 9:00 e le 15:00 nelle due giornate più serene in prossimità dell'equinozio. Si deve calcolare l'illuminamento per il sole (componente diretta) e il cielo (componente diffusa) in condizioni di cielo sereno secondo quanto descritto nella *Reference Guide for Building Design and Construction v4* (U.S. Green Building Council). Per questa valutazione è necessario escludere le imposte o le schermature dal modello. Questa valutazione è meno restrittiva, pertanto è possibile ottenere al massimo 2 punti.

Tabella 5 Tabella dei punteggi ottenibili scegliendo l'Opzione 2 del credito EQ Daylight

Per tutte le categorie eccetto Healthcare		Healthcare	
% superficie regolarmente occupata	Punti	% superficie perimetrale	Punti
75%	1	75%	1
90%	2	90%	2

- Opzione 3: Misurazione. Effettuare due misurazioni dei livelli di illuminamento in presenza di mobili e impianti seguendo quanto indicato nella guida LEED v4, dimostrando di aver raggiunto valori di illuminamento tra i 300 lux e i 3000 lux per la superficie di riferimento.

Nell'analisi seguente si tenta in primis di adottare l'Opzione 1 ma si riscontra poi un problema con il software che obbliga necessariamente a procedere secondo l'Opzione 2.

3.3 Standard di riferimento

3.3.1 ANSI/ASHRAE/IES 90.1-2010

Lo standard ANSI/ASHRAE 90.1-2010 "Energy Standard for Building except Low-Rise Residential Buildings" è stato formulato dalla American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) grazie ad un processo di accreditamento dell'ANSI (American National Standards Institute). Lo standard definisce i requisiti minimi per la progettazione di edifici energeticamente efficienti, con l'eccezione di edifici prefabbricati mobili o modulari, di edifici monofamiliari, edifici multifamiliari con meno di quattro piani abitabili fuori terra, di edifici che non usano né elettricità né combustibili fossili.

I progetti che intendono perseguire l'Opzione 1, Whole Building Energy Simulation, di EA Prerequisito 2 (Minimum Energy Performance) e di EA Credito 1 (Optimize energy Performance) devono presentare la documentazione che dimostri la percentuale di energia risparmiata determinata secondo quanto definite nell'Appendice G "Performance Rating Method" della norma sopracitata. L'appendice G è un documento fondamentale per valutare l'efficienza energetica degli edifici in progetto. Quanto descritto nell'appendice G non sostituisce in alcun modo i requisiti minimi richiesti per il soddisfacimento della norma e non è un'integrazione: si tratta di procedure il cui scopo è la quantificazione delle prestazioni degli edifici che soddisfano lo standard ASHRAE 90.1.

Il Performance Rating Method è una procedura che permette di dimostrare l'incremento della prestazione energetica dell'edificio rispetto all'ASHRAE/IESNA 90.1-2010 attraverso un modello che permetta la comparazione dei consumi di energia primaria del Proposed Building (edificio di progetto) rispetto a quelli del Baseline Building (edificio di riferimento). La modellazione dei due edifici deve seguire delle indicazioni precise che vengono definite accuratamente all'interno della norma.

3.3.2 UNI EN ISO 7730:2006

La norma UNI EN ISO 7730:2006 "Ergonomia degli ambienti termici – Determinazione analitica e interpretazione del benessere termico mediante il calcolo degli indici PMV e PPD e dei criteri di benessere termico locale" definisce metodi per prevedere la sensazione termica globale e il grado di disagio degli occupanti di ambienti moderati, dove per ambienti moderati si intendono quegli ambienti in cui è possibile raggiungere le condizioni di benessere termico. Il PMV (Predicted Mean Vote) è un indice che prevede il valore medio dei voti di un gruppo di occupanti sulla scala di sensazione termica a 7 punti, basato su bilancio di energia termica del corpo umano. In un ambiente moderato il sistema di termoregolazione umana si occupa automaticamente di modificare la temperatura della pelle e la sudorazione per mantenere l'equilibrio termico. Un valore di PMV pari a -3 significa sensazione di molto freddo, un valore di +3 significa molto caldo, zero significa neutralità termica. Il PMV esprime una sensazione globale media che non considera la reale soddisfazione degli occupanti. Il PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied) è un indice che prevede la percentuale di insoddisfazione termica degli occupanti, per considerare il discomfort a livello locale. Le principali cause di discomfort locale sono correnti d'aria, elevate differenze di temperatura verticale tra testa e caviglie o soffitti eccessivamente caldi/freddi. Nella norma è presente un grafico che implementa l'equazione che correla PPD e PMV. Secondo la norma, per dimostrare di essere in condizioni di comfort termico, è necessario valutare i due indici e dimostrare che rientrino nei range indicati, a seconda del tipo edificio e della classe di comfort considerata.

4. Caso studio

L'edificio che si intende analizzare è una palazzina uffici di recente costruzione, ubicata in Viale della Certosa angolo via Fratelli Cervi a Collegno, in una zona periferica della città, vicino ad una delle arterie principali che permette l'accesso all'autostrada e alla tangenziale nord di Torino. La palazzina uffici è evidenziata in rosso nell'immagine seguente e verrà di seguito analizzata come nuova costruzione.

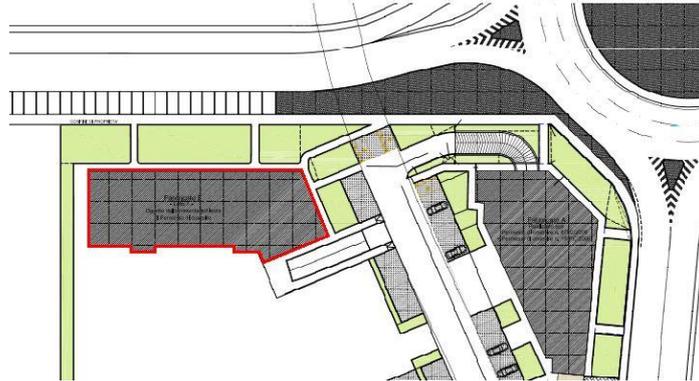


Figura 13 Inquadramento dell'edificio

Il comune di Collegno (TO) è situato a 302 m sul livello del mare e caratterizzato da 2.646 Gradi Giorno (secondo quanto indicato dal DPR 412/93), pertanto corrisponde alla zona climatica E, con una stagione di riscaldamento convenzionale che va dal 15 ottobre al 15 aprile.

L'edificio è situato in una zona ai confini della città, è prevalentemente circondato da verde e campi incolti, eccetto una costruzione simile realizzata in precedenza posta a est che causa degli ombreggiamenti. In assenza di ostacoli le infiltrazioni dovute all'azione del vento sarebbero più importanti ma si è scelto di trascurarle nelle simulazioni perché è presente un sistema di ventilazione meccanica che mantiene l'edificio in pressione.

L'edificio è costituito da tre piani fuori terra più interrato e ha volumetria totale pari a 8.686 m³ lordi, con un rapporto S/V pari a 0,38 m⁻¹.

L'edificio è così costituito:

- Piano interrato adibito ad uso parcheggio e magazzini, non climatizzato;
- Piano terra in cui sono presenti un Ufficio Open Space, uffici, sale riunioni, area espositiva e locali per le attività di produzione (laboratori e sale prototipi);
- Due piani superiori di dimensioni inferiori dedicati a uffici singoli, uffici Open Space e sale riunione;
- Tetto piano sul quale è realizzato il locale tecnico.

Nell'Allegato A sono presenti le planimetrie del piano terra, del primo e del secondo piano. Nell'immagine seguente è possibile vedere il prospetto sud dell'edificio.



Figura 14 Prospetto sud. Disegno Autocad ¹⁶

Il fabbricato ha una struttura a blocco a forma di parallelepipedo con i locali del vano scale sporgenti. Al piano terra è presente una ulteriore porzione di edificio sporgente dedicata ad un ufficio open space, prevalentemente vetrata.

I piani primo e secondo sono divisi esattamente a metà da un muro, così da avere un'ala ovest e un'ala est per ogni piano. Il piano terra invece è completamente collegato da un lungo corridoio. Al piano terra ed in ogni ala dell'edificio sono presenti almeno due locali dedicati ai servizi igienici.

I piani primo e secondo sono caratterizzati da una disposizione degli spazi simile, con piccoli uffici disposti lungo le pareti perimetrali e ampi uffici open space che sono direttamente collegati ai corridoi, senza alcun muro divisorio.

Nell'analisi seguente si ipotizza che l'edificio non sia ancora stato realizzato, pertanto si adotta il protocollo LEED BD+C New Construction.

L'edificio, del tipo non residenziale, è destinato prevalentemente ad uso uffici. Essendo presenti però alcune zone non adibite a uffici quali area espositiva, laboratori, sala prototipi e altre, è necessario effettuare un'analisi dettagliata locale per locale. Sarebbe infatti inappropriato considerare tutti i locali come adibiti ad uso uffici ed effettuare quindi una valutazione superficiale perché si andrebbe a considerare in modo errato il profilo dei carichi interni.

La palazzina è caratterizzata dalla presenza sulla copertura piana principale della centrale termica e di 86 pannelli fotovoltaici di potenza massima ciascuno pari a 250 W, per un totale di potenza installata pari a 21,5 kW.

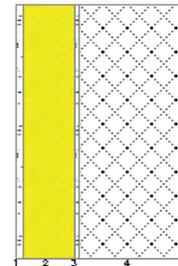
¹⁶ S.P.E. Divisione Clima, Elaborati grafici e descrittivi progetto meccanico, 2017

4.1 Struttura e condizioni di progetto

La struttura dell'edificio è costituita prevalentemente da blocchi di calcestruzzo prefabbricati, con l'aggiunta di elementi in alluminio su alcune superfici esterne e con una parte realizzata in blocchi splittati. Tutti i muri esterni sono dotati di uno strato di isolante realizzato con un pannello in fibra di vetro del tipo Isover con barriera da 10 cm, con conducibilità termica pari a 0,032 W/mK. Le pareti esterne hanno quindi in media una trasmittanza termica che varia da 0,24 a 0,27 W/m²K. Di seguito viene riportata, a scopo esemplificativo, la stratigrafia della parete esterna costituita da blocchi di calcestruzzo.

Stratigrafia:

N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,130	-	-	-
1	Pannello di cartongesso	13,00	0,600	0,022	750	0,84	8
2	Fibra di vetro - Pannello tipo Isover con barriera	100,00	0,032	3,083	40	0,84	25774
3	Malta di cemento	10,00	1,400	0,007	2000	0,84	27
4	Pannello prefabbricato in cls	200,00	0,300	0,667	1700	0,88	100
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,071	-	-	-



Legenda simboli

s	Spessore
Cond.	Conducibilità termica, comprensiva di eventuali coefficienti correttivi
R	Resistenza termica
M.V.	Massa volumica
C.T.	Capacità termica specifica
R.V.	Fattore di resistenza alla diffusione del vapore in capo asciutto

mm
W/mK
m ² K/W
kg/m ³
kJ/kgK
-

Il muro divisorio verso il vano scala non riscaldato è invece caratterizzato dallo stesso pannello isolante ma con uno spessore inferiore, pari a 8 cm, che contribuisce al raggiungimento di una trasmittanza termica della struttura pari a 0,28 W/m²K.

Lo strato isolante del pavimento su interrato e della copertura piana è stato realizzato in polistirene espanso estruso, con conducibilità termica pari a 0,034 W/mK, con uno spessore rispettivamente pari a 8 cm per il primo e 11 cm per il secondo. Il pavimento su interrato è un pavimento galleggiante, anche chiamato sopraelevato, che prevede l'utilizzo di un piano di calpestio rialzato rispetto al massetto del solaio. In questo modo, tra piano di calpestio e massetto si crea un'intercapedine che viene utilizzata come vano tecnico per il passaggio di fili elettrici e delle tubazioni. Tale tipologia di pavimento è molto diffusa negli edifici destinati ad uffici perché permette una maggiore praticità in caso di manutenzione o modifica degli impianti: permette infatti di intervenire rapidamente su un singolo pannello senza dover spostare quelli adiacenti. Il soffitto interpiano, non disperdente, è caratterizzato da un controsoffitto posto ad un'altezza di 3 m circa

dal pavimento e permette il passaggio dei canali e dei tubi per i servizi di riscaldamento, raffrescamento e ventilazione.

L'involucro trasparente è realizzato con vetri doppi ad alta prestazione, con trasmittanza termica pari a $1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$, fattore solare pari a $0,65$ e telaio metallico con intaglio termico caratterizzato da una trasmittanza pari a circa 2 o $2,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ a seconda del serramento. In generale, la trasmittanza termica del serramento si può definire discreta in quanto non supera mai il valore di $2,1 \text{ W/m}^2\text{K}$. Nella tabella seguente vengono indicati i valori di trasmittanza di tutte le finestre presenti nell'edificio:

Tabella 6 Coefficiente di trasmittanza termica U delle finestre dell'edificio di progetto

Coefficiente di trasmittanza termica finestre	
Dimensioni [cm]	Uw [$\text{W/m}^2\text{K}$]
300x340	1,75
200x380	1,74
130x140	1,8
253x340	1,73
80x100	2,1
120x250	1,95
310x150	1,7
130x150	1,97
80x150	2,1
250x150	1,7

Le finestre sono presenti in quantità elevata su tutte le superfici verticali esterne dell'edificio. In particolare, il piano terra è dotato su tutte le superfici verticali esterne di ampie portefinestre.

Si procede innanzitutto con la valutazione dei carichi di progetto dell'edificio per verificare che gli impianti siano adeguati al mantenimento delle condizioni di comfort termoigrometrico all'interno dell'edificio. La città di Collegno, appartenente alla zona climatica E, ha le seguenti condizioni esterne di progetto: per il periodo invernale la temperatura esterna di progetto è pari a $-9,4 \text{ }^\circ\text{C}$, per il periodo estivo la temperatura esterna di progetto è pari a $31 \text{ }^\circ\text{C}$ e l'umidità relativa esterna di progetto è pari a 50% .

Le condizioni interne di progetto da mantenere nei locali climatizzati sono:

- Temperatura estiva pari a 26°C e umidità relativa estiva pari a 50% ;
- Temperatura invernale pari a 20°C e umidità relativa invernale pari a 50% .

Fanno eccezione i bagni, per i quali è presente solo il servizio di riscaldamento con condizioni di progetto analoghe agli altri locali e il locale CED in cui è presente solo il servizio di raffrescamento. Si ricorda che il locale seminterrato e i locali vano scala non sono riscaldati. Nella fase preliminare

si è tenuto conto di una simulazione in regime stazionario realizzata attraverso il software EdilClima, per verificare in via semplificata e grossolanamente i carichi termici richiesti dell'edificio.

4.2 Carichi interni

Per valutare il fabbisogno termico richiesto dall'edificio e da ogni singolo locale, è necessario definire l'apporto dovuto ai carichi interni. Questi rappresentano gli apporti di calore agli ambienti condizionati provenienti dall'interno degli ambienti stessi. I carichi interni possono essere di vario tipo, i principali sono dovuti all'occupazione delle persone, all'impianto di illuminazione e ai macchinari presenti. Gli apporti interni non vengono considerati nella fase di progettazione per il calcolo del fabbisogno termico massimo invernale perché costituirebbero un apporto gratuito che, nella valutazione nelle condizioni di progetto invernale, non deve mai essere incluso. Nel calcolo di progetto del fabbisogno massimo estivo è invece necessario considerare la presenza dei carichi interni latenti e sensibili in quanto apporti negativi che devono essere compensati dall'impianto. Nella simulazione dinamica gli apporti interni non possono essere trascurati perché influiscono sull'effettivo indice di consumo e sul comfort degli occupanti.

I carichi interni dovuti all'occupazione forniscono un apporto di calore sia sensibile che latente, rispettivamente pari a 0,064 kW e 0,07 kW a persona. Nel valutare l'affollamento non si è utilizzata la normativa UNI 10339 ma si è fatto riferimento alla reale condizione di occupazione in progetto per l'edificio. Talvolta il valore di affollamento della normativa risulta superiore a quello utilizzato, talvolta inferiore: si è scelto di simulare l'edificio in maniera più realistica possibile contando il numero di posti a sedere o di postazioni per il computer. In particolare, per gli uffici Open Space l'indice di affollamento varia tra 0,09 e 0,148 persone al metro quadro, per le sale riunione varia tra 0,14 a 0,48. Fanno eccezione le meeting rooms 1, 2 e 3 presenti al piano terra dove il numero di posti massimo è definito chiaramente in fase di progetto e risulta pari a 10 posti per le meeting room 1 e 2, 24 posti per la meeting room 3. Negli uffici singoli si sono fatte delle assunzioni ragionevoli e l'indice di affollamento varia in media tra lo 0,05 e lo 0,2 persone al metro quadro. Vano scale, interrato e bagni sono stati considerati ad occupazione nulla.

Per quanto riguarda gli apporti interni sensibili dovuti all'utilizzo di apparecchi elettrici quali computer, si è ipotizzato in media un valore pari a 25 W/m² per la zona CED, 18 W/m² per gli uffici, 15 W/m² per le sale riunioni e 12 W/m² per tutti i locali rimanenti.

Il sistema di illuminazione è realizzato con lampade a LED ad alta efficienza e basso consumo, per le quali viene considerato un carico termico pari a 3 W/m². La regolazione dell'impianto per tutti i locali climatizzati è dotata di un sistema di controllo automatico che prevede lo spegnimento di tutte le luci durante il periodo notturno.

4.3 Suddivisione in zone termiche e impianto HVAC

L'edificio, costituito da 3 piani fuori terra, è stato diviso in sei zone termiche, due per ogni piano, ognuna servita dal proprio sistema di ventilazione. I piani primo e secondo sono divisi esattamente in due zone uguali, separate da un muro che le divide fisicamente, caratterizzate ognuna dal proprio vano scala non riscaldato. Il piano terra invece è fisicamente realizzato come un piano unico, dove spiccano però le meeting rooms che sono dotate di un sistema di ventilazione dedicato. Il piano terra viene quindi diviso in due zone, una include le meeting rooms e l'altra tutti gli altri locali. A queste sei zone si aggiunge la zona dedicata al Centro Elaborazione Dati (CED) che non è né riscaldata né ventilata, ma è presente un impianto di raffrescamento autonomo. Nell'immagine seguente si evidenziano le sette zone termiche in cui è stato suddiviso l'edificio.

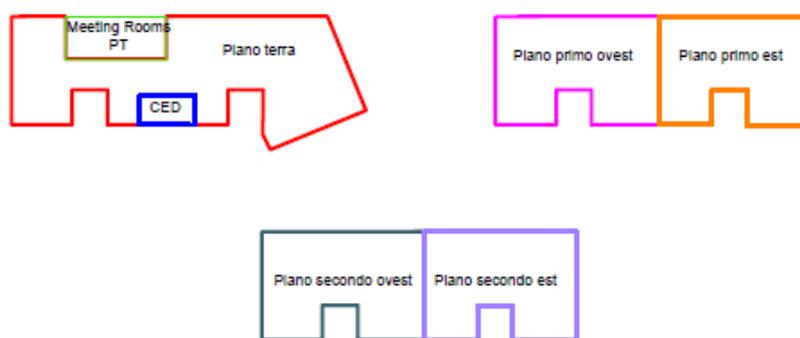


Figura 15 Divisione in zone termiche. Disegno Autocad

4.3.1 Riscaldamento e raffrescamento

L'impianto di climatizzazione è costituito da un sistema ad acqua centralizzato sia per il riscaldamento che per il raffrescamento. La produzione del fluido termovettore (acqua calda o refrigerata) avviene tramite un generatore di calore a gas metano a condensazione ubicato nella centrale termica in copertura ed un gruppo frigorifero posto sull'area esterna, di fronte alla centrale. All'interno della centrale termica trovano inoltre alloggio i collettori di mandata e ritorno, i circolatori, gli organi di controllo e regolazione. Nell'Allegato B è disponibile lo schema funzionale dell'impianto. La temperatura dell'acqua inviata agli impianti viene compensata in funzione della temperatura esterna misurata da una apposita sonda climatica: se la temperatura esterna è elevata (maggiore di 15°C) l'acqua viene inviata a una temperatura pari a 50 °C, altrimenti viene inviata a 60°C.

La caldaia installata è del tipo a condensazione a gas metano con potenza utile massima (acqua a 80/60°C) 105 kW, modello VITOCROSSAL 300 – CM3, VISSMANN. La caldaia è completa di centralina di regolazione climatica e dispositivo di neutralizzazione condensa.

Il refrigeratore aria/acqua ad alta efficienza in versione silenziata è costituito da due compressori scroll su due circuiti frigoriferi indipendenti, modello NRLO330°°E°J°P1, marca AERMEC. La potenza frigorifera massima (acqua 7/12 °C) è pari a 78,33 kW. Il gruppo frigorifero assorbe una potenza elettrica pari a 21,10 kW ed è quindi caratterizzato da un E.E.R. di 3,71 W/W.

Sul circuito di acqua refrigerata è presente un serbatoio di accumulo inerziale in acciaio al carbonio con zincatura a caldo e coibentazione con schiuma rigida di spessore 20 mm con rivestimento esterno in PVC colorato, modello VK verticale, marca Fiorini da 800 lt, con diametro 850 mm e altezza 1740 mm.

Il riscaldamento e il raffrescamento sono garantiti da ventilconvettori che provvedono alla compensazione dei carichi sensibili e latenti sia esterni che interni. I ventilconvettori al loro interno sono dotati di un ventilatore che preleva dell'aria ambiente e la invia alle batterie di scambio termico dove per convezione forzata scambia calore con l'acqua calda/fredda prima di essere espulsa. Durante il periodo di raffrescamento l'umidità contenuta nell'aria ambiente, quando attraversa la batteria di raffrescamento, condensa in acqua e viene raccolta in un'apposita vaschetta. In questo modo durante il periodo estivo il ventilconvettore riesce a compensare sia i carichi sensibili che quelli latenti. Durante il periodo invernale invece non risulta presente alcun controllo dell'umidità: non è previsto un umidificatore, pertanto l'aria risulterà molto secca.

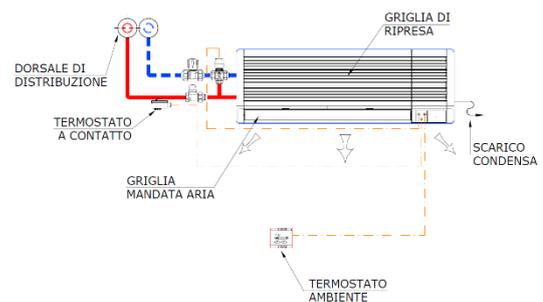


Figura 16 Particolare ventilconvettore a parete

Il riscaldamento per i soli servizi igienici è garantito mediante radiatori in acciaio a tre o quattro colonne, dotati di valvola termostatica. La sala CED è esclusivamente raffreddata per mezzo di due condizionatori ad espansione diretta con inverter di potenza nominale 4,6 kW ciascuno e potenza elettrica assorbita di 1,47 kW ciascuno. I due condizionatori sono dotati di una unità interna a parete con portata massima di aria pari a 630 m³/h e una unità esterna posta sulla facciata sud.

La palazzina è divisa in sei zone, ognuna delle quali ha un proprio circuito ad acqua dedicato che parte dalla centrale termica: su ciascun circuito viene installato un contabilizzatore di calore che permette la ripartizione delle spese. Ogni circuito secondario che parte dal collettore è dotato di un proprio circolatore elettronico della Grundfos, con prevalenza media pari a 70 kPa.

Le condizioni di progetto dell'acqua di mandata in condizioni estive, con ventilconvettori che funzionano alla velocità media, sono temperatura di mandata 7°C e salto termico di 5°C; le condizioni di progetto invernali sono temperatura di mandata 60°C e salto termico pari a 5°C.

I ventilconvettori sono di diverso tipo, incassati a soffitto o a parete. Quelli installati nel



Figura 17 Ventilconvettore a controsoffitto AERMEC FCL

controsoffitto nei singoli uffici sono dotati di proprio termostato per il controllo della temperatura ambiente, quelli nei controsoffiti di locali comuni sono dotati di un unico termostato. I ventilconvettori a parete sono invece dotati di un telecomando ciascuno per la gestione della temperatura ambiente. I ventilconvettori idronici integrabili in controsoffitto sono a cassetta con motore monofase a tre velocità, muniti di bacinella di

raccolta condensa e di una pompa di evacuazione condensa che verrà convogliata in un circuito di scarico delle condense. A seconda della necessità i ventilconvettori dell'impianto a due tubi, tutti della marca AERMEC, possono avere le seguenti caratteristiche alla velocità media:

Tabella 7 Caratteristiche ventilconvettori installati nell'edificio di progetto

Modello	Potenzialità termica (70°C) [W]	Potenzialità frigorifera totale (7/12°C) [W]	Portata aria [m ³ /h]	Potenza assorbita [W]
FCL 32	2.946	1.470	410	13
FCL 42	4.473	2.540	360	16
FCW 323V (a parete)	4.363	2.080	390	23

Tutti i fancoil sono dotati di sonda di minima temperatura dell'acqua che impedisce il funzionamento in riscaldamento con acqua inferiore a 35°C e griglia di mandata con alette orientabili manualmente.

I radiatori presenti nei bagni vengono dimensionati con temperatura di mandata pari a 60°C e salto termico pari a 5°C, con lo scopo di mantenere la temperatura ambiente pari a 20°C. Nella tabella seguente vengono riportati i radiatori utilizzati nei bagni. Il radiatore viene tipicamente indicato con una serie di tre numeri, ad esempio 16/3/1800, che significano rispettivamente numero di elementi (16), numero di colonne (3) e altezza del radiatore (1800 mm).

Tabella 8 Caratteristiche dei radiatori presenti nei bagni dell'edificio di progetto

Caratteristiche radiatori bagni		
	Radiatore	Potenza termica [W]
Bagno PT ovest	16/3/1800	1.856
Bagno PT est	8/3/1800	928
Bagno P1 ovest a	12/3/1800	1.392
Bagno P1 ovest b	12/3/1800	1.368
Bagno P1 est	16/3/1800	1.856
Bagno P2 ovest a	12/3/1800	1.392
Bagno P2 ovest b	12/3/1800	1.392
Bagno P2 est a	14/3/1800	1.624
Bagno P2 est b	4/3/1800	464
	14/3/1800	1.624

4.3.2 Ventilazione

La corretta ventilazione ambiente è garantita in funzione del numero di persone presenti e della destinazione d'uso dei locali. L'aria minima di rinnovo è infatti calcolata in base alle UNI 10339, con una portata minima a persona pari a 39,6 m³/h. La ventilazione meccanica è del tipo bilanciato, con egual portata immessa ed estratta. L'impianto di ricambio aria presente è del tipo a tutt'aria esterna con recuperatore di calore statico a flussi crociati caratterizzato da efficienza di recupero sensibile pari mediamente a 0,855 in inverno. Ognuna delle sei zone è dotata di un proprio impianto VMC, con recuperatore di calore attivo solo durante la stagione invernale, posizionato nei controsoffitti. L'aria di rinnovo prelevata dalla facciata esterna dell'edificio viene filtrata, viene preriscaldata dallo scambiatore e viene immessa in ambiente per mezzo di diffusori lineari multiferitoia o da diffusori da controsoffitto multiferitoia. L'aria viziata invece viene prelevata dai locali per mezzo di bocchette dotate di filtro e convogliata allo scambiatore del recuperatore di calore. L'aria viziata, dopo aver ceduto la propria energia termica, viene espulsa all'esterno.

Nell'immagine seguente viene proposto uno schema esemplificativo del principio di funzionamento dei recuperatori presenti nel progetto.

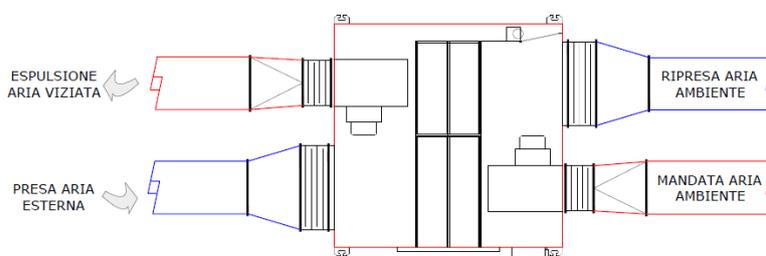


Figura 18 Principio di funzionamento impianto di ricambio aria. Disegno Autocad¹⁷

¹⁷ S.P.E. Divisione Clima, Tavola impianto meccanico

Al piano terreno è previsto un sistema di ventilazione dedicato unicamente alle meeting rooms che, in base all'affollamento reale di quest'ultime, riesce a garantire la portata di aria pulita grazie a una serie di serrande motorizzate installate a monte della distribuzione di ogni sala riunione. L'azionamento delle serrande è gestito da un potenziometro e la portata d'aria viene regolata da due pressostati posti sulle canalizzazioni di immissione e di ripresa dell'aria che, attraverso una centralina, aumentano o diminuiscono la portata dei ventilatori permettendo così di adeguare i ricambi aria in funzione del fattore di occupazione.

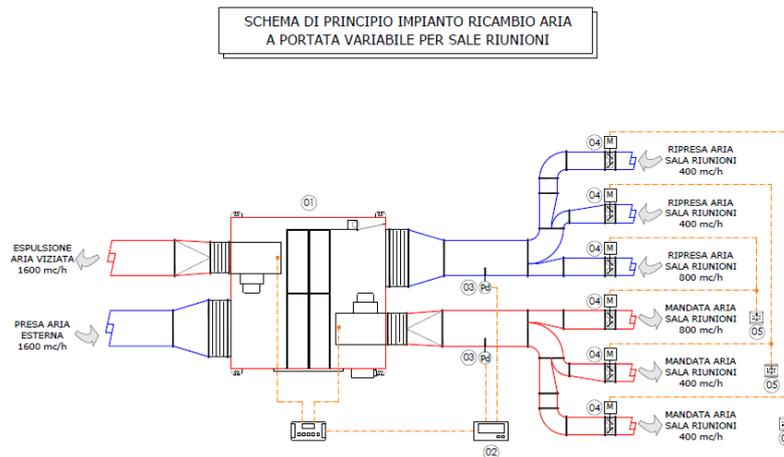


Figura 19 Principio di funzionamento impianto di ricambio aria a portata variabile meeting rooms PT.
Disegno Autocad¹⁸

I recuperatori di calore sono ad altissima efficienza e basso consumo energetico, adatti all'installazione orizzontale in controsoffitto. Lo scambiatore è realizzato in alluminio con flussi in controcorrente. I recuperatori sono dotati di filtri pieghettati classe di efficienza G4 e comando remoto a parete. Nella configurazione di funzionamento a portata variabile, hanno le seguenti caratteristiche:

Tabella 9 Caratteristiche dei recuperatori di calore dell'edificio di progetto

Recuperatore di calore	Portata max aria rinnovo [m ³ /h]	Prevalenza ventilatore mandata max [Pa]
UTA piano terra	1.310	210
UTA meeting room piano terra	1.600	200
UTA P1 lato ovest	1.195	245
UTA P1 lato est	1.435	230
UTA P2 lato ovest	1.200	275
UTA P2 lato est	1.520	270

¹⁸ S.P.E. Divisione Clima, Tavola impianto meccanico

I diffusori di mandata e ripresa dell'aria sono del tipo S420 della TECNOVENTIL, ad alta induzione, con pannello quadrato per installazione a controsoffitto, con deflettori in alluminio regolabili a 8, 16 o 32 feritoie. Sono dotati di plenum di collegamento e di serranda di regolazione montata sul plenum. I diffusori di mandata e ripresa del tipo lineare a feritoie sono del tipo DLF xF della marca TECNOVENTIL, dotati di deflettori orientabili, plenum isolato e serranda di taratura.

4.3.3 ACS

L'acqua calda sanitaria viene utilizzata nei bagni, nel locale infermeria e nel laboratorio a piano terra. L'acqua calda giunge a docce, lavabi, bidet e WC. Ogni locale bagno è dotato di un proprio preparatore rapido di ACS alimentato a corrente elettrica. Quello posto al piano terra, nel bagno dell'ala ovest, fornisce acqua calda anche al laboratorio; quello dell'ala est la fornisce al locale infermeria. Vi sono quindi in totale nove preparatori di ACS pensili a parete con un volume ciascuno di 40 litri e una potenza elettrica individuale di 1 kW.

4.3.4 Analisi preliminare: simulazione su EdilClima

Una simulazione preliminare nel caso stazionario viene effettuata per valutare l'efficienza dell'involucro opaco e trasparente e per valutare il contributo della ventilazione alle dispersioni termiche. Tale simulazione viene effettuata utilizzando il software commerciale EdilClima, largamente diffuso in ambito di progettazione energetica in quanto intuitivo e preciso, basato sulla normativa italiana.

Nella valutazione del calcolo di progetto in condizioni invernali viene assunto un fattore di sicurezza pari a 1,10 e viene utilizzato il software EC700 "Calcolo prestazioni energetiche degli edifici" (con i relativi pacchetti aggiuntivi), che calcola le prestazioni energetiche degli edifici in conformità alle specifiche tecniche UNI/TS 11300. Il software permette di selezionare nel database presente la località di riferimento e carica in automatico tutti i dati climatici necessari, inclusi quelli di progetto.

Vengono quindi definite le strutture opache, quelle trasparenti e i ponti termici e viene realizzato il modello tramite input grafico; vengono esclusi vano scala e interrato dall'analisi. Nell'input grafico è possibile disegnare le pareti caratterizzate dalle strutture appositamente create, associare a pavimenti/soffitti le relative strutture, inserire i ponti termici ove presenti e creare le zone termiche, andando a definire le caratteristiche di ventilazione locale per locale. Nella realizzazione del modello sul suddetto software si è fissata la temperatura dei locali non riscaldati ipotizzando le condizioni peggiori, assumendo 5°C per il vano scala e 2°C per l'interrato. Facendo queste ipotesi il valore delle dispersioni sarà sicuramente maggiore del caso reale ma ci si pone dalla parte della ragione, assicurandosi che la caldaia e i terminali possano coprire anche un caso eccezionale con

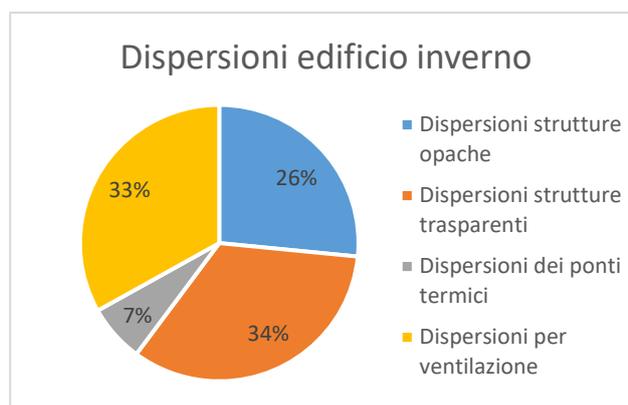
temperature molto basse. Si procede poi con la definizione dell'impianto, molto semplificato rispetto a quello reale a causa delle numerose limitazioni del software. In particolare, vengono definite le portate di ventilazione per ogni locale e l'efficienza del recuperatore di calore.

Le dispersioni totali dell'edificio sono pari a:

Tabella 10 Dispersioni dell'edificio nel caso di progetto invernale

Dispersioni totali edificio [W]	
Dispersioni strutture opache	20.664
Dispersioni strutture trasparenti	26.142
Dispersioni dei ponti termici	5.233
Dispersioni per ventilazione	25.774

Figura 20 Grafico a torta delle dispersioni dell'edificio nel caso di progetto invernale



Il totale delle dispersioni per trasmissione ammonta a circa 52 kW, più del doppio delle dispersioni per ventilazione. La maggior parte delle dispersioni per trasmissione è dovuta alle componenti fenestrate non perché di pessima qualità ma perché presenti in numero rilevante su tutte le superfici esterne dell'edificio. Le dispersioni per ventilazione ammontano a 26 kW circa e sono ridotte grazie alla presenza del recuperatore di calore che permette di immettere aria a temperatura maggiore di quella esterna. Le dispersioni totali dell'edificio, che includono quindi quelle per trasmissione e per ventilazione, ammontano a 78 kW circa. Considerando un fattore di sicurezza pari a 1,1 la caldaia deve avere una taglia superiore a 85 kW.

Le dispersioni totali sono così suddivise:

Tabella 11 Dettaglio delle dispersioni dell'edificio nel caso di progetto invernale

Nr.	Descrizione zona termica	Φ_{hl} [W]	$\Phi_{hl,sic}$ [W]
1	Piano terra uffici	25.949	28.544
2	Zona CED	975	1.073
3	Meeting PT	6.122	6.734
4	Zona uffici P1 ovest	9.906	10.897
5	Zona uffici P1 est	9.486	10.435
6	Zona uffici P2 ovest	11.901	13.091
7	Zona uffici P2 est	13.474	14.821
Totale		77.813	85.595

Legenda simboli

- Φ_{hl} Potenza totale dispersa
- $\Phi_{hl,sic}$ Potenza totale moltiplicata per il coefficiente di sicurezza

Le dispersioni maggiori si hanno per il piano terra che confina con l'interrato non riscaldato e che ha una superficie disperdente maggiore, in quanto più grande dei piani superiori e confinante in parte con la copertura piana. Anche il secondo piano che è confinato dalla copertura piana che dà verso l'esterno ha una dispersione rilevante. Il piano primo invece, essendo intermedio, ha una superficie disperdente ridotta e quindi una potenza dispersa inferiore.

Si procede ora con la valutazione del calcolo di progetto estivo per determinare il valore delle dispersioni in condizioni di progetto e quindi stimare la potenzialità del refrigeratore. Nel calcolo di progetto estivo, valutato con il modulo EC706 e con il metodo Carrier-Pizzetti, si deve tener conto di tutti i carichi endogeni che devono essere compensati dall'impianto di raffrescamento. Nel periodo estivo, infatti, i carichi termici da compensare non sono costanti ma variano nell'arco della giornata, come per esempio l'incidenza della radiazione solare.

Ai carichi interni sopra descritti vengono associati dei profili orari standard definiti in modo semplificato come nella tabella seguente, con lo scopo di avere una stima dei carichi interni. Il profilo orario della potenza elettrica dovuta agli apparecchi viene impostato identico a quello di occupazione.

Tabella 12 Profili orari occupazione utilizzati su EdilClima

Ora	8	10	12	14	16	18
Uffici	20	100	100	60	100	60
Sale riunioni	0	100	100	0	100	60
Area espositiva	40	80	80	70	80	40
Laboratori	20	100	100	80	100	60

Durante il periodo di raffrescamento quindi a contribuire al fabbisogno termico estivo vi sono numerosi fattori quali l'effetto della radiazione solare attraverso le strutture trasparenti, l'effetto della trasmissione del calore attraverso le strutture opache/trasparenti, l'inerzia termica delle strutture dell'edificio, il calore entrante dovuto ai ricambi d'aria e i carichi termici interni.

Il calcolo viene effettuato nel mese più critico, ovvero luglio, in cui si presentano le condizioni ambientali esterne più sfavorevoli. Nella simulazione su EdilClima vengono considerati raffrescati indistintamente tutti i locali occupati: si ottiene un valore di picco pari a 77,8 kW che ipotizza la contemporaneità di tutti i carichi interni e che corrisponde al massimo carico di raffrescamento che può essere richiesto dall'edificio.

I carichi sono così suddivisi nelle zone:

Tabella 13 Dettaglio delle dispersioni dell'edificio nel caso di progetto estivo

Zona	Descrizione	Mese	Ora	$Q_{gl,sen}$ [W]	$Q_{gl,lat}$ [W]	Q_{gl} [W]
1	Piano terra uffici	luglio	16	13.676	5.103	18.779
2	Zona CED	luglio	16	1.133	129	1.262
3	Meeting PT	luglio	16	4.443	3.459	7.902
4	Zona uffici P1 ovest	luglio	16	8.173	3.921	12.095
5	Zona uffici P1 est	luglio	16	8.318	4.240	12.557
6	Zona uffici P2 ovest	luglio	16	8.363	3.020	11.386
7	Zona uffici P2 est	luglio	16	9.142	4.670	13.813

Totale

77.794

Legenda simboli

$Q_{gl,sen}$	Carico sensibile globale
$Q_{gl,lat}$	Carico latente globale
Q_{gl}	Carico globale

Le dispersioni valutate nel caso di progetto estivo rispecchiano un andamento analogo a quelle del caso invernale: il maggiore responsabile è il piano terra, che oltre ad una maggiore superficie disperdente ha inoltre ampie superfici vetrate che permettono alla radiazione solare di entrare nell'edificio e aumentare la temperatura dell'aria. Il piano terra è costituito dalla zona uffici, dalle meeting rooms e dal Centro Elaborazione Dati: quest'ultimo, pur essendo un locale ridotto, ha una richiesta di raffrescamento elevata a causa della presenza di numerosi apparecchi elettrici. Anche le meeting rooms, pur essendo di dimensioni relativamente piccole, hanno un'elevata richiesta di raffrescamento dovuta sia alla presenza di numerose persone (affollamento più elevato che negli uffici) sia alla presenza di ampie superfici vetrate.

5. Simulazione dinamica dell'edificio

La simulazione dinamica di un edificio e del suo impianto permette di effettuare una valutazione realistica di numerosi parametri energetici. L'inserimento corretto e rigoroso dei dati di input e delle condizioni al contorno risulta fondamentale per effettuare una simulazione simile alla realtà. La Building Energy Modeling (BEM) dà la possibilità a professionisti e leader dell'industria di affrontare in maniera adeguata i problemi relativi alle performance dell'edificio, osservandone le caratteristiche durante un intero anno.

I principali software di simulazione energetica si basano principalmente su due modelli di calcolo, uno basato sulle funzioni di trasferimento e un modello ai volumi finiti. I modelli numerici sono oggi sempre più diffusi come supporto nei processi decisionali relativi al progetto, all'esercizio e alla gestione dell'edificio perché permettono di vedere l'evolversi delle caratteristiche dell'edificio durante l'arco di un intero anno.

Il primo passo dell'analisi energetica di un edificio consiste nella determinazione del carico termico dell'ambiente costruito, ossia la quantità di energia che deve essere immessa o sottratta da un ambiente per mantenere le condizioni prefissate di temperatura e umidità relativa. I software più semplici assumono che l'energia richiesta per mantenere le condizioni interne di set-point sia esclusivamente funzione della temperatura esterna di bulbo secco, quindi in condizioni stazionarie dell'edificio. I software più sofisticati invece considerano gli effetti della radiazione solare, degli apporti interni, dell'accumulo di calore delle pareti perimetrali e gli effetti del vento sia sullo scambio termico sia sull'infiltrazione nel tempo. Nell'analisi appena effettuata si è utilizzato un software, EdilClima, che simula in maniera stazionaria il carico termico dell'edificio. Per la valutazione dei crediti LEED si procederà invece con l'utilizzo di un software di simulazione dinamica dell'edificio che simulerà l'edificio di progetto, con gli impianti e i dispositivi che si trovano al suo interno. Tutte le grandezze coinvolte (temperature, flussi termici, profili di utilizzo, clima esterno) sono variabili nel tempo e come tali vengono simulate.

I carichi termici dell'ambiente verranno definiti dal software attraverso la risoluzione dell'equazione di bilancio termico convettivo dell'aria in ambiente e delle equazioni di bilancio termico conduttivo, convettivo e radiante di tutte le superfici a contatto con l'aria interna.

L'ottenimento dei crediti legati alla performance dell'edificio è realizzato scegliendo l'Opzione 1, che richiede la simulazione dell'intero edificio in regime dinamico. La realizzazione del Proposed Building e del Baseline Building devono essere in accordo con la norma ASHRAE 90.1-2010

appendice G. Per effettuare le simulazioni è pertanto necessario utilizzare un software approvato da USGBC con le seguenti caratteristiche minime:

- capacità di simulare 8760 ore all'anno;
- capacità di simulare una variazione oraria di tutti i carichi interni, dei termostati di setpoint e del funzionamento dell'impianto, distinguendo tra giorni lavorativi e vacanze;
- capacità di simulare l'effetto massa termica;
- capacità di simulare almeno 10 zone termiche;
- possibilità di inserire una curva di efficienza a carichi parziali per le componenti meccaniche;
- possibilità di inserire economizzatori con controllo integrato;
- capacità di realizzare l'edificio di baseline come indicato nella Sezione G3, Appendice G ASHRAE 90.1-2010.

5.1 Software per la simulazione dinamica: Energy Plus e Design Builder

Nel caso in analisi si è optato per l'utilizzo del programma di simulazione energetica EnergyPlus, Versione 8.9.0. EnergyPlus è un software gratuito e opensource di whole-building energy modeling (BEM), rilasciato dal Department of Energy (DOE), USA. Sviluppato fin dal 1997, oggi sintetizza tutte le conoscenze in merito al BEM in un motore robusto e affidabile che è continuamente aggiornato e migliorato. Ogni anno vengono rilasciate due nuove versioni, una in ottobre e una in aprile: la più recente è la versione 9.3.0 rilasciata a marzo 2020.



Figura 21 Logo Energy Plus

Energy-Plus si basa su due motori di simulazione energetica, DOE-2 e BLAST (Building Loads Analysis and system Thermodynamics), permettendo così una simulazione integrata (non sequenziale) dell'ambiente e dell'impianto HVAC. EnergyPlus permette quindi di simulare simultaneamente il comportamento dell'involucro, del sistema e dell'impianto in modo tale da determinare l'effettivo carico necessario per mantenere le condizioni di comfort dell'ambiente interno.

Il software permette di effettuare una simulazione a intervalli mensili, orari e sub-orari a seconda delle necessità; consente inoltre di valutare il comfort termico, di effettuare calcoli in merito all'illuminazione e di modellare sistemi HVAC estremamente accurati. In EnergyPlus è possibile distinguere due diversi timestep: uno è quello che viene definito dall'utente e riguarda l'interazione tra le zone termiche; l'altro è variabile e non definibile dall'utente e riguarda la simulazione degli impianti di climatizzazione. Il metodo di calcolo dei carichi termici implementato su EnergyPlus è il

metodo ASHRAE che si basa sulla differenza di temperatura dei diversi locali e sulle caratteristiche termiche dei materiali dell'involucro.

Il limite più grande di EnergyPlus è l'assenza di un'interfaccia grafica: tutti i dati di input devono essere inseriti nel software esclusivamente come file di testo. Esistono però numerosi software che consistono in interfacce grafiche per permettere un inserimento più agevole dei dati di input che verranno poi processati da EnergyPlus. Tra queste vale la pena nominare l'interfaccia gratuita OpenStudio, ampiamente diffusa e in continuo aggiornamento e l'interfaccia a pagamento Design Builder, più intuitiva e diffusa in ambito commerciale.

Nell'analisi seguente si intende utilizzare Design Builder versione 6.1.5.002, una potente interfaccia grafica intuitiva che sfrutta il motore Energy Plus. Il software, sviluppato da Design Builder Ltd, è



Figura 22 Logo Design Builder

a pagamento ma è possibile scaricare dal sito una versione gratuita completa per 30 giorni. Il software è basato sull'utilizzo di template e dati di default che guidano l'utente nel processo di inserimento dei dati e nelle analisi. Design Builder include 9 moduli integrati tra cui Illuminazione Naturale, CFD, HVAC, Certificazione, Valutazione economica, LEED e Ottimizzazione, per assistere i professionisti nella progettazione di edifici sostenibili.

Attraverso Design Builder è possibile definire la geometria in 3D del modello, associarvi le caratteristiche termiche e strutturali e costruire il sistema HVAC. Il software viene utilizzato da architetti, ingegneri, termotecnici e studenti perché permette di modificare rapidamente l'edificio e di osservarne immediatamente le differenze nei risultati. Proprio per la sua flessibilità è utilizzato nelle diverse fasi del progetto, dalla scelta delle strutture alla simulazione completa per analizzare i consumi. Il software genera un'ampia gamma di report chiari e intuitivi contenenti i risultati ottenuti, suddivisi in categorie.

Design Builder permette di simulare l'edificio secondo quanto definito nel Performance Rating Method della normativa ASHRAE 90.1-2010 e permette di realizzare dei report per valutare i crediti LEED EA: Prerequisito 2 e EA: Optimize Energy Performance. Oltre a realizzare l'edificio in accordo con l'appendice G dell'ASHRAE 90.1, il software guida l'utente nella realizzazione del Baseline Building e mostra dei report di confronto tra il Proposed e il Baseline Building.

Design Builder, appoggiandosi su motori affidabili quali "Radiance" e "Daysim", permette di effettuare simulazioni annuali rigorose sulla luce diurna che penetra nell'edificio. Il software permette inoltre di selezionare l'opzione del credito LEED "Daylight" che si intende affrontare fornendo così i risultati richiesti per la certificazione.

Quando si effettua la simulazione dinamica dell'edificio è possibile visualizzare le opzioni di calcolo selezionate. L'algoritmo tipicamente utilizzato per le simulazioni è basato sulle funzioni di trasferimento per la conduzione; per la convezione interna si utilizza invece l'algoritmo "TARP", per la convezione esterna l'algoritmo "DOE-2".

Il massimo numero di "warmup" è impostato automaticamente a 25: ciò significa che il primo giorno viene simulato ripetutamente prima dell'inizio della simulazione vera e propria per garantire che le temperature all'interno dell'edificio siano realistiche. Il "warmup" continua finché le temperature e i flussi termici di ogni zona convergono; se ciò non avviene, la ripetizione termina quando si raggiunge il massimo numero di giorni specificato nelle opzioni di calcolo. La variabile di convergenze dei carichi è impostata automaticamente pari a 0,040, quella di convergenza della temperatura pari a 0,4.

5.2 Proposed Building

Il Proposed Model, ossia l'edificio di progetto di cui si intende valutare le performance, deve essere modellato secondo quanto descritto nella normativa ASHRAE 90.1-2010 Appendice G.

In particolare, nella creazione del modello si devono rispettare le seguenti indicazioni:

- tutti gli spazi condizionati nell'edificio di progetto devono essere simulati come se fossero sia riscaldati che raffrescati anche se non è presente un sistema di riscaldamento/raffrescamento e devono avere caratteristiche analoghe all'impianto del Baseline Model. Fanno eccezione le zone per cui il sistema HVAC dell'edificio di Baseline è del tipo 9 o 10, dove non è necessario simulare il raffrescamento;
- se l'edificio è già stato progettato, come nel caso in analisi, tutte le caratteristiche del modello devono rispettare le specifiche tecniche progettuali. Inoltre, è necessario allegare la documentazione tecnica dei componenti utilizzati;
- se non si conosce la destinazione d'uso di alcune zone climatizzate, queste devono essere considerate come uffici open space;
- i profili di funzionamento e occupazione devono rispecchiare il più possibile la realtà e devono essere approvati dal Rating Authority;
- i livelli minimi di qualità dell'aria nei locali devono essere sempre soddisfatti in presenza di persone attraverso l'immissione di aria esterna. Talvolta è necessario immettere aria pulita anche in assenza di persone per garantire un determinato livello di igiene;

5.2.1 Geometria e struttura

Alla creazione di un nuovo modello su Design Builder è possibile spuntare l'opzione "ASHARE 90.1" che permette di creare un edificio in accordo con la normativa selezionata. Nella schermata iniziale è inoltre necessario scegliere la località di riferimento: nel caso in analisi si procede con il selezionare la località disponibile più vicina a Collegno, che risulta essere Torino-Caselle. Il software caricherà così in automatico i dati climatici della località selezionata presenti nel database.

Selezionando l'opzione "ASHRAE 90.1" in automatico vengono caricate delle impostazioni di default: ad esempio è necessario considerare le dimensioni esterne dell'edificio quando si procede con la rappresentazione grafica ed è necessario fissare le dimensioni di muri e solai. In questo modo quando verrà generato il Baseline Building si è certi che avrà lo stesso volume delle zone climatizzate del Proposed Building, nonostante lo spessore dei muri sia diverso.

Il Proposed Model viene realizzato esattamente come definito in fase di progetto, con geometria e orientamento identiche a quello che sarà l'edificio reale. L'edificio viene disegnato in 3D direttamente su Design Builder, a partire dalle piante in formato .dwg. Nel modello è necessario rappresentare sia le zone climatizzate che quelle non climatizzate. I locali vengono definiti utilizzando la costruzione di partizioni interne e vengono rinominati per una facile lettura. Si realizzano quindi sei blocchi principali, uno per il piano interrato, uno per il piano terra, uno per il primo piano est, uno per il primo piano ovest, uno per il secondo piano est e uno per il secondo piano ovest. Si realizza inoltre un blocco "Standard" per rappresentare l'edificio vicino che causa ombreggiamenti su quello di progetto. Viene importato un file ".dxf" per poter disegnare l'edificio vicino con la distanza e le dimensioni corrette.

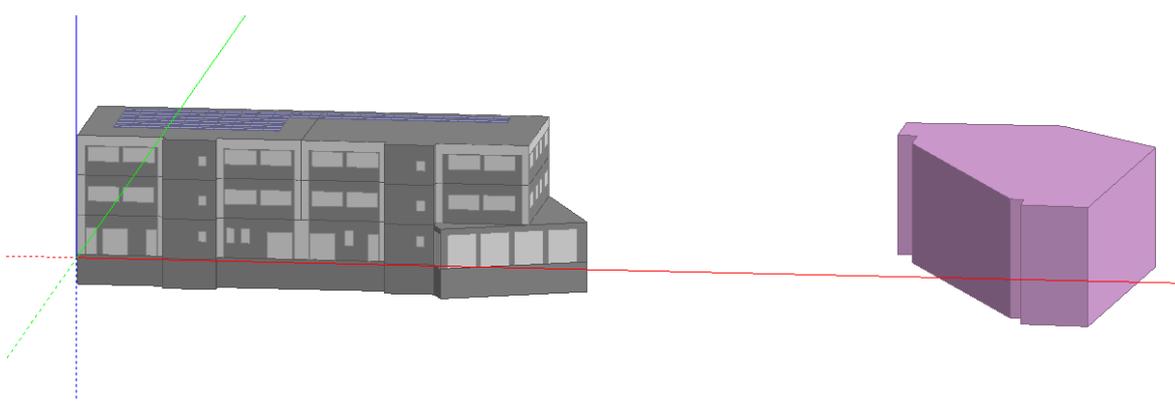


Figura 23 Geometria dell'edificio realizzata su Design Builder

Nella realizzazione del modello tridimensionale quindi si è tenuto conto della presenza del piano interrato e del vano scale: assegnandovi poi nel Tab "Attività" l'opzione "nessuna attività" il software riconosce quelle zone come non climatizzate e alle strutture adiacenti alle zone climatizzate vengono associate la struttura "semi-esposte".

Viene realizzato l'involucro, vengono disegnate le aperture e ad ogni struttura viene associata una stratigrafia appositamente creata. I materiali di default vengono copiati e modificati in modo tale da ottenere delle strutture con trasmittanza identica a quella di progetto. Design Builder è strutturato secondo una gerarchia precisa che permette di semplificare le operazioni da effettuare. Se si pone il cursore a livello di edificio, è possibile modificare strutture e carichi interni per tutti i blocchi di cui è composto. Se invece si intende modificare le caratteristiche di un blocco, ad esempio le strutture, è possibile effettuare le modifiche a livello del blocco. A quel punto tutti i locali appartenenti a quel blocco subiranno le modifiche effettuate. Se si intende invece modificare le caratteristiche del singolo locale, ci si deve posizionare a livello del locale: queste modifiche non influenzeranno nessun'altra zona o locale. Design Builder associa in automatico le condizioni al contorno ad ogni singola superficie disperdente: è necessario controllare, per essere certi di aver realizzato il modello correttamente, che le superfici disperdenti del piano interrato abbiano come condizione al contorno "Adiacente al terreno".

Alle finestre viene assegnato il vetro corrispondente e si inseriscono i dati relativi alla presenza del telaio e dei divisori. Il vetro viene definito mediante modalità semplificata perché se ne conoscono solo i valori di trasmittanza totale. Non potendo definire in modo semplificato il telaio, si realizza una stratigrafia di metallo e PVC in modo tale da raggiungere i valori di trasmittanza noti. Nella sezione "Aperture" è inoltre possibile inserire la presenza di schermature: la presenza di numerose superfici vetrate rende necessario l'utilizzo di tendaggi durante il periodo estivo. Pertanto, vengono inserite delle tende diffondenti a rullo opache poste all'interno dell'edificio e soggette ad un controllo legato alla temperatura esterna notturna bassa in inverno e alla presenza del raffrescamento diurno. Quindi le tende vengono abbassate durante la notte in inverno per evitare la dispersione del calore e durante il giorno nel periodo estivo per ridurre il carico dovuto alla radiazione solare. Il profilo di funzionamento è del tipo attivo per tutti i giorni da lunedì a sabato dalle 6 alle 18; successivamente questo profilo verrà modificato in base all'occupazione del locale.

Di seguito è presente un rendering del modello del Proposed Building generato su Design Builder nel quale è possibile distinguere le porzioni di pareti esterne realizzate in blocchi prefabbricati e quelle rivestite in alluminio. Inoltre, è possibile notare sulla copertura la presenza dei pannelli fotovoltaici.



Figura 24 Rendering del modello generato su Design Builder

5.2.2 Attività e illuminazione

La normativa ASHRAE 90.1-2010 permette di scegliere tra due metodi alternativi per definire le zone termiche: il “Building Area Method”, che considera l’intero edificio come un’unica zona termica, e il “Space by Space Method”, che considera l’edificio suddiviso in diverse zone termiche. Il primo è adatto a edifici in cui sia nettamente prevalente un’attività (ad esempio una palazzina uffici in cui non vi siano zone predisposte ad altro uso); il secondo invece suddivide l’edificio in zone in base alla loro destinazione d’uso, ai carichi interni e all’impianto che le serve.

L’edificio oggetto di questa tesi è una palazzina ad uso prevalente uffici ma ha delle zone adibite ad altra destinazione d’uso ed è servita da impianti differenti: pertanto si è deciso di adottare la metodologia “Space by Space”.

Si procede attribuendo inizialmente a livello di edificio alcune caratteristiche comuni che verranno poi modificate nel dettaglio a livello di locale. Nel tab “Attività” è possibile inserire il valore e il profilo temporale dei carichi interni. Innanzitutto, qui si può verificare che l’edificio secondo ASHRAE 90.1 sia del tipo “proposto”, non residenziale e che la principale sorgente di calore selezionata sia corretta: nel caso oggetto di studio si tratta di combustibile fossile. Inoltre, si deve definire la categoria di illuminazione ASHRAE 90.1 che nel caso in analisi sarà impostata inizialmente come “Office- Open Plan” e che verrà poi modificata a livello di locale.

Il valore della densità di occupazione verrà impostato locale per locale in base a quanto definito in sede di progetto. Si definisce un profilo di base per l’occupazione denominato “Occupazione uffici” che segue l’andamento descritto dal grafico seguente che verrà poi modificato a livello di locale dove si imposteranno i diversi profili di occupazione: per le sale riunioni si ipotizza un utilizzo di soli

3 giorni a settimana con andamento orario visibile nel grafico seguente. Si definiscono poi i profili orari per l'area espositiva e per laboratorio, area produzione e area prototipi. I profili, che vengono di seguito presentati, sono simili a quelli utilizzati su EdilClima ma non uguali, perché Design Builder permette di descriverli in maniera più dettagliata. Qui è infatti possibile definire una frazione dell'occupazione per ogni ora di ogni giorno della settimana.

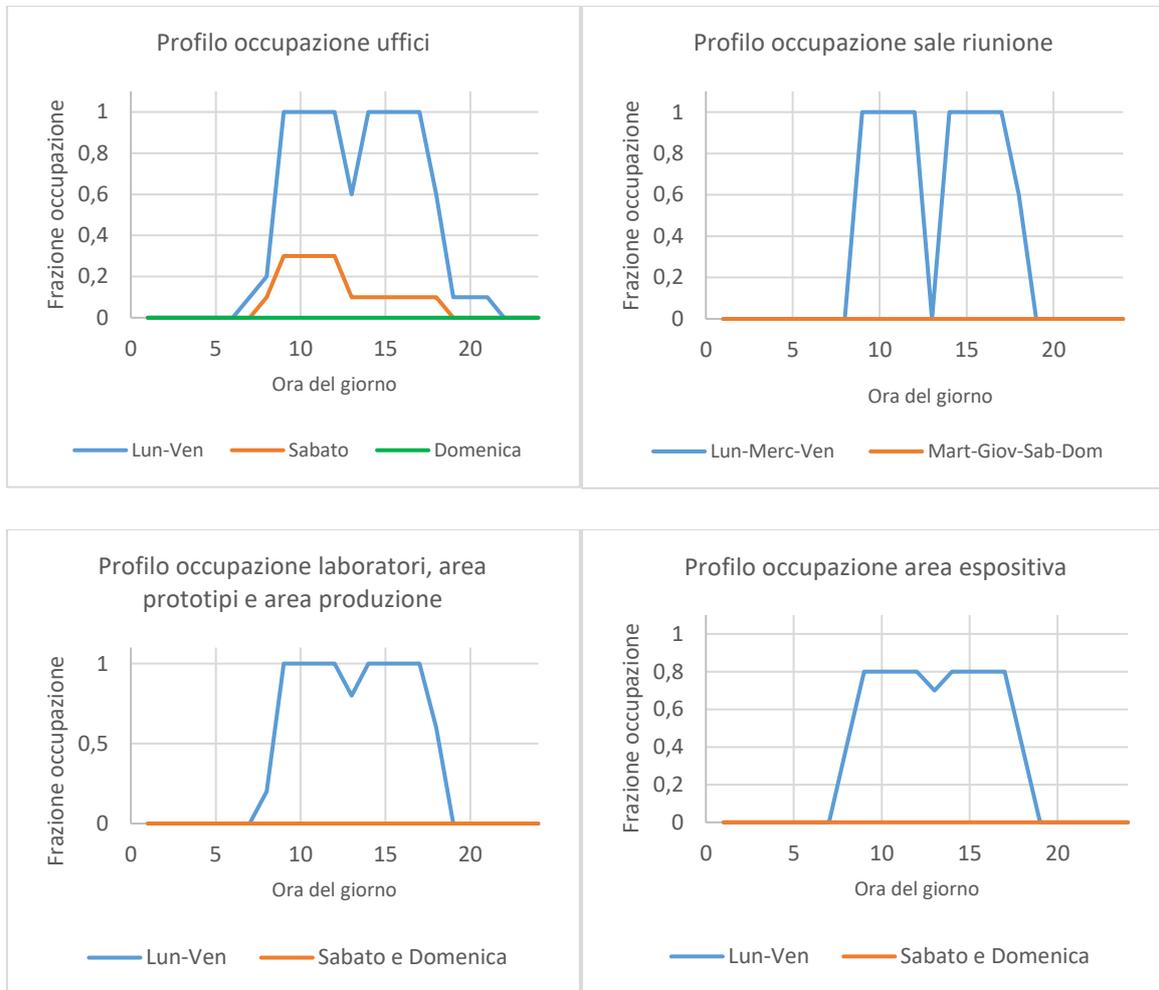


Figura 25 Profili orari di occupazione dei diversi locali utilizzati su DB

Si noti che per vano scale e servizi igienici si considera un'occupazione nulla in quanto l'occupazione è saltuaria e di breve durata.

Si procede selezionando il tasso metabolico tra quelli di default di Design Builder, che per attività di lavoro leggero in ufficio è pari a 120 W/persona. Si selezionano poi le resistenze termiche del vestiario che verranno utilizzate per il calcolo del comfort termico. Secondo la UNI EN ISO 7730 si imposta una resistenza per i vestiti invernali pari a 1 clo e una per i vestiti estivi pari a 0,5 clo.

Successivamente si definiscono le temperature di set-point di riscaldamento e raffrescamento. Per il periodo invernale si impone una temperatura di set-point pari a 20°C, analogamente si impone

una temperatura di set-point nel periodo estivo pari a 26°C. Il profilo di accensione dell'impianto viene ipotizzato a pieno carico dalle 6 alle 18 e poi subisce un'attenuazione notturna; alla domenica l'impianto rimane spento.

Viene infine definita la portata minima di aria di rinnovo a persona, pari a 11 l/s persona e la potenza dovuta alla presenza di apparecchi elettrici, tra cui computer, in modo analogo a quanto effettuato su EdilClima. Si inseriscono quindi le potenze degli apparecchi elettrici espresse in W/m² per ogni locale e vi si associa il corrispondente profilo di funzionamento identico a quello di occupazione della zona. In tutti i locali vano scale viene inserita una potenza elettrica dovuta agli ascensori: considerando una potenza per lo spunto iniziale a 10 kW e dividendola per la superficie del vano scala si ottiene una potenza da inserire nel programma pari a 300 W/m².

Si passa quindi al tab "Illuminazione" dove è possibile definire la densità di potenza dell'illuminazione a LED applicata alla superficie del soffitto pari a 3 W/m² con un profilo orario identico a quello di occupazione. La potenza relativa all'illuminazione viene considerata uguale in tutto l'edificio, ciò che varia è il profilo temporale di accensione che viene ipotizzato analogo a quello di occupazione.

Vengono infine disegnati sulla copertura principale 86 pannelli fotovoltaici da 250 W ciascuno, associati a tre quadri elettrici collegati ad altrettanti inverter.

5.2.3 Modellazione dell'impianto HVAC

Terminata la definizione del modello geometrico e strutturale e assegnate le caratteristiche dei carichi interni e di set-point, si può procedere con la definizione del sistema HVAC.

Nella ASHRAE 90.1-2010 è richiesto che l'impianto venga definito in modo identico e più preciso possibile a quello reale, quindi si procede alla definizione dettagliata del sistema HVAC realizzando un circuito per l'acqua calda, uno per l'acqua refrigerata e diversi circuiti ad aria, uno per ogni VMC. Inoltre, è necessario semplificare la presenza di 9 boiler per l'acqua calda sanitaria con un unico circuito ACS e un unico boiler.

La funzione HVAC dettagliato del software Design Builder permette di definire dei gruppi di zone termiche con analoghe caratteristiche dal punto di vista impiantistico: si possono raggruppare più locali caratterizzati dalla stessa tipologia di terminale e serviti dallo stesso circuito. Si procede quindi a definire un gruppo di zone per ogni ala dell'edificio servito da un proprio impianto VMC: le zone inserite in ogni gruppo avranno come terminale un fancoil collegato ai due circuiti ad acqua e dei diffusori collegati al proprio circuito ad aria. Fanno eccezione però i bagni, per i quali il terminale di emissione è un radiatore collegato al circuito ad acqua calda.

A causa di una limitazione del software non è possibile creare delle zone in cui vi sia esclusivamente immissione o estrazione di aria e che questa possa essere convogliata a un recuperatore di calore. Si è dovuto quindi procedere ad una semplificazione, realizzando un gruppo di zone apposito per i locali bagni in cui si inserisce come terminali esclusivamente il radiatore e si trascura la presenza dell'estrazione dell'aria. Per bilanciare questa mancanza la portata di aria che non viene estratta da ogni bagno viene conteggiata negli altri locali della stessa ala, in modo tale che per ogni ala dell'edificio si mantenga una ventilazione meccanica bilanciata.

Di seguito viene mostrata la rappresentazione del sistema HVAC dettagliato realizzata su Design Builder, in cui sono chiaramente visibili i sei gruppi di zona dotati di ventilazione, raffreddamento e riscaldamento e il gruppo dedicato ai bagni in cui è presente solo il radiatore. Nell'immagine seguente manca il sistema HVAC dedicato al Centro Elaborazione Dati che non è collegato a nessuno dei circuiti mostrati in figura, pertanto verrà analizzato successivamente.

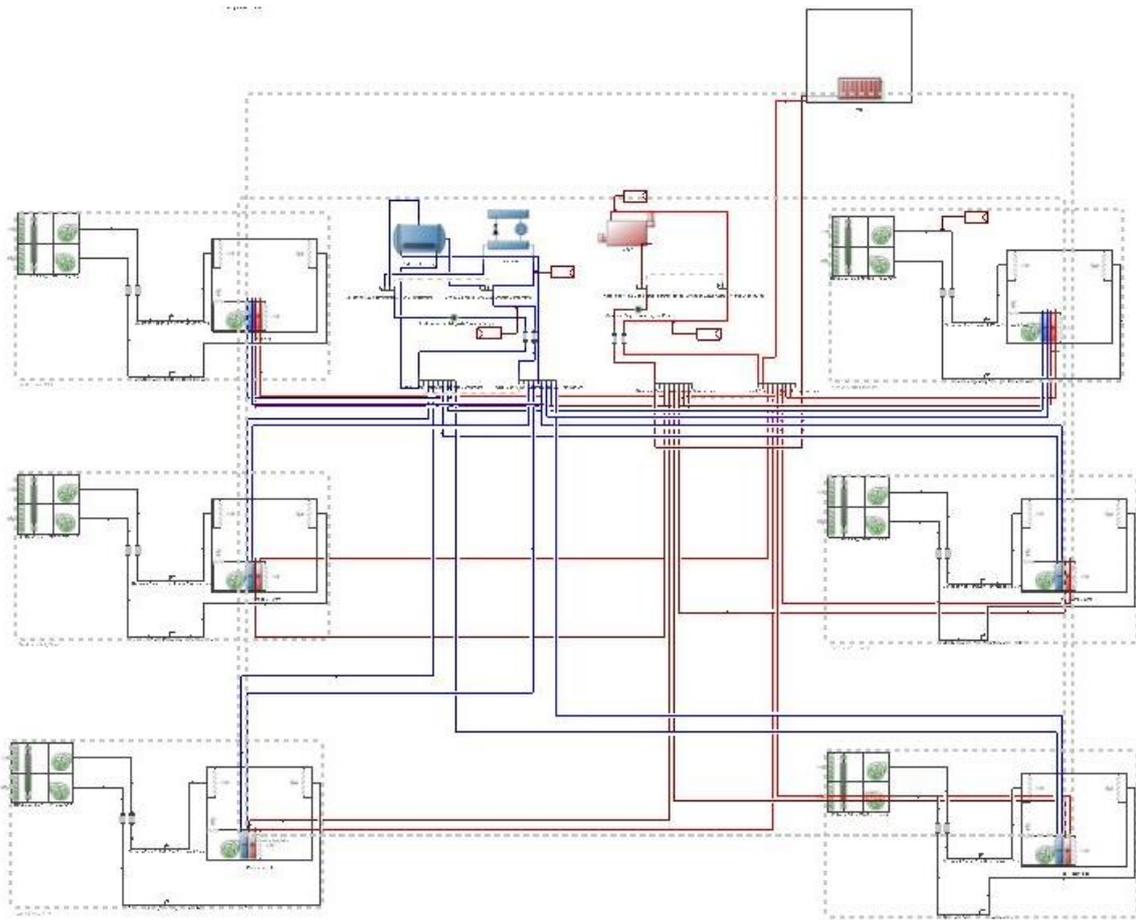


Figura 26 Schema dell'impianto HVAC del Proposed Building realizzato su DB

5.2.3.1 Circuito acqua calda

I circuiti definiti su Design Builder vengono automaticamente divisi in due parti: una relativa al lato richiesta e una relativa al lato sorgente. Nel lato sorgente del circuito ad acqua calda è presente una caldaia a condensazione descritta nel capitolo 4.3.1 che produce acqua calda a 60 °C. Vengono inseriti tutti i dati presenti nella scheda tecnica in merito a capacità nominali, carico elettrico ausiliario e efficienza termica. Non essendo a conoscenza delle prestazioni a carichi parziali, si utilizza una curva normalizzata di efficienza di default per caldaie a condensazione.

Sul circuito lato sorgente, nel progetto reale, è presente un circolatore sul primario che si collega ad un separatore idraulico da cui parte il circuito che va al collettore principale. Non potendo realizzare un separatore idraulico su Design Builder, questo elemento e la pompa vengono trascurati. Sul circuito lato sorgente viene invece inserita una pompa per tener conto della presenza di tutte le pompe presenti sui singoli circuiti a valle del collettore. La pompa che viene inserita ha quindi prevalenza pari alla prevalenza media delle pompe presenti sul lato richiesta nel progetto reale, pari a 70 kPa, e potenza elettrica assorbita pari alla somma delle potenze elettriche assorbite dalle singole pompe, circa 1589 W. Sul lato sorgente è inoltre presente un elemento di controllo chiamato "Setpoint Manager" che permette di impostare il tipo di regolazione del circuito. In questo caso si ha un tipo di regolazione a compensazione climatica, ossia la temperatura dell'acqua di mandata viene regolata in base alla temperatura esterna dell'aria. Se la temperatura esterna supera i 15 °C allora l'acqua viene riscaldata solo ad una temperatura pari a 50°C anziché 60°C.

Sul lato richiesta invece è presente una ramificazione a cui sono collegati tutti i terminali di ogni gruppo di zona. I terminali riscaldanti possono essere quindi, nel caso in analisi, o ventilconvettori o radiatori.

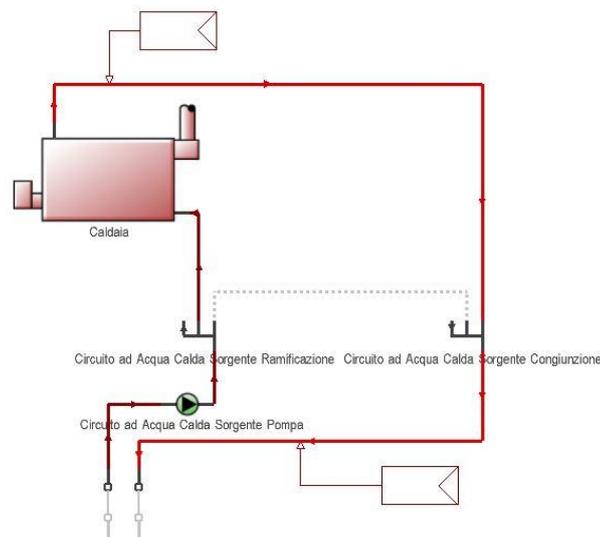


Figura 27 Circuito acqua calda lato sorgente Proposed Building realizzato su DB

I radiatori dei bagni vengono dimensionati secondo quanto definito in sede di progetto: la temperatura di mandata è pari a 60 °C, quella di ritorno a 55°C. Ad ogni radiatore viene assegnata la capacità termica nominale nelle condizioni di progetto.

I fancoil sono rappresentati da una unità costituita da tre elementi principali: la batteria di riscaldamento, quella di raffreddamento e il ventilatore. Le batterie vengono caratterizzate inserendo il valore di capacità termica di progetto e la temperatura dell'acqua di mandata e di ritorno.

I dati di default del ventilatore non vengono modificati.

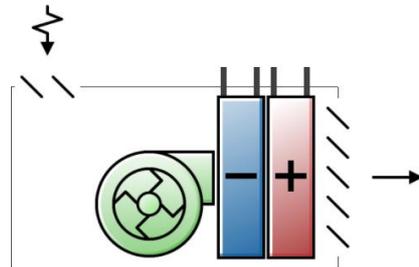


Figura 28 Rappresentazione di un ventilconvettore su DB

5.2.3.2 Circuito acqua refrigerata

Il circuito ad acqua refrigerata è anch'esso costituito da un lato sorgente e un lato richiesta. Il lato sorgente è caratterizzato dalla presenza del refrigeratore aria/acqua ad alta efficienza del quale vengono inseriti i dati tecnici come descritto nel capitolo 4.3.1. In particolare, viene richiesta la capacità di riferimento, l'EER, la portata di acqua refrigerata di riferimento e le temperature coinvolte. Anche in questo caso è stata assunta la curva di prestazione di default. Il profilo di funzionamento assegnato al refrigeratore è del tipo acceso dal 16 maggio al 14 settembre, quando effettivamente può esserci la necessità di raffrescamento.

Nel circuito in progetto è presente un serbatoio di accumulo inerziale da 800 lt che viene rappresentato nel modello come un "Chilled Water Storage". La rappresentazione del serbatoio inerziale non è esatta: è stato necessario semplificare il serbatoio e rappresentarlo come "Chilled Water Storage". Inoltre, è presente un circolatore elettronico a velocità variabile le cui caratteristiche vengono definite in modo analogo a quanto fatto per il circuito di acqua calda, ovvero prevalenza 70 kPa e potenza elettrica assorbita 1.589 W. Sono presenti due "Setpoint Manager", uno immediatamente a valle del refrigeratore e uno a valle dell'accumulo, entrambi impostati su controllo di tipo programmato dove l'acqua viene prodotta sempre a 7°C.

Il lato richiesta è caratterizzato da una ramificazione a cui si collegano tutti i terminali e il Chilled Water Storage. I terminali in questione sono tutti fancoil: il circuito di acqua refrigerata si collega alla batteria fredda di ogni fancoil. Le batterie vengono dimensionate secondo quanto definito in fase di progetto.

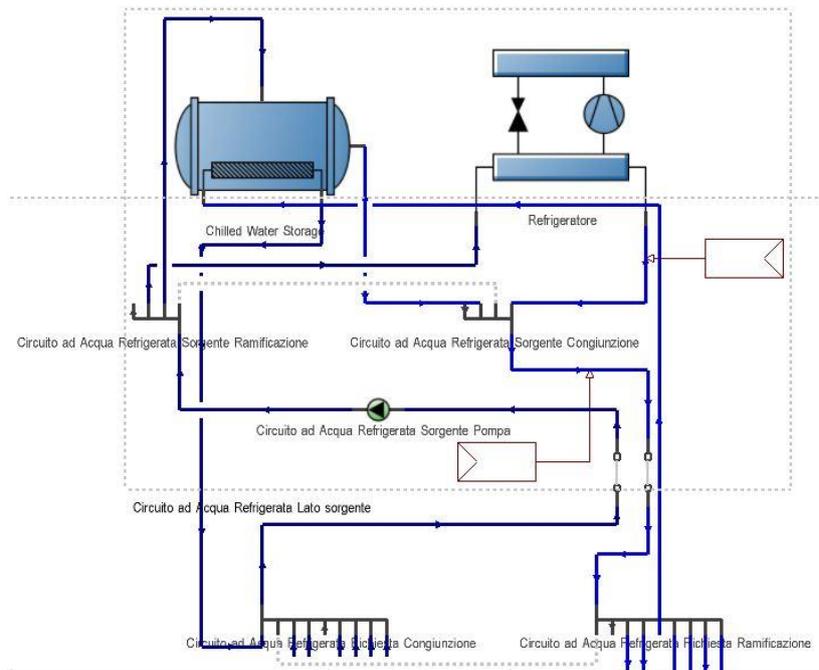


Figura 29 Circuito acqua refrigerata lato sorgente del Proposed Building realizzato su DB

5.2.3.3 Circuiti ad aria

L'area CED non è collegata al circuito di acqua refrigerata: il locale è raffreddato attraverso un sistema split. Sul software Design Builder non esiste un componente dedicato a rappresentare questo sistema, pertanto, si simula il funzionamento dello split generando un circuito ad aria con pompa di calore unitaria aria-aria. Vengono inseriti i dati necessari, tra cui la portata d'aria di immissione nel caso di raffreddamento e la potenza nominale. Inoltre, secondo quanto indicato nello standard ASHRAE 90.1-2010 Appendice G, dove non è previsto un sistema di riscaldamento nell'edificio di progetto è necessario comunque simularlo con tipologia e caratteristiche identiche a quelle del Baseline Building. In particolare, il riscaldamento deve essere di tipo elettrico con caratteristiche analoghe al sistema utilizzato nel Baseline System. Come verrà spiegato in seguito nel Baseline Building al CED verrà assegnato un sistema #3 con batteria di riscaldamento alimentata a combustibile fossile. Quindi è necessario definire nel circuito ad aria con pompa di calore unitaria aria-aria anche la batteria di riscaldamento, con dimensioni analoghe a quanto verrà fatto nell'edificio di riferimento ma con alimentazione elettrica.

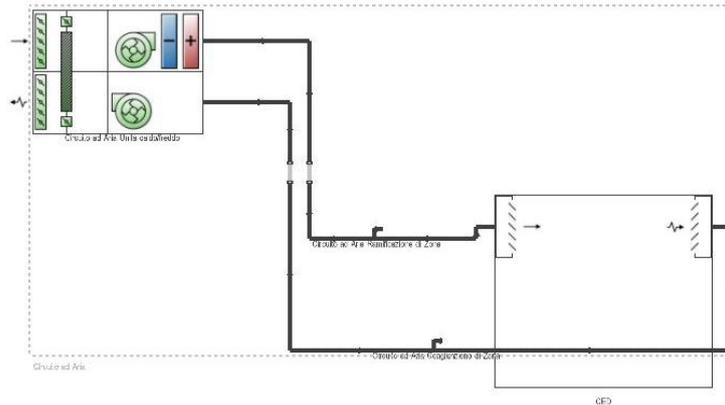


Figura 30 Impianto HVAC del CED del Proposed Building realizzato su DB

Vengono poi generati 6 circuiti ad aria per simulare la presenza della VMC con recuperatore di calore in ognuna dei gruppi di zona. Per ogni gruppo di zone si genera quindi un air loop dotato di unità di trattamento aria con recuperatore di calore e diffusori ed estrattori in ogni locale.

A livello di lato sorgente, per ogni circuito vengono inseriti tutti i dati in merito alle portate di aria di progetto e alle potenze elettriche assorbite. Le UTA, dedicate esclusivamente alla ventilazione, sono costituite da ventilatore di immissione, ventilatore di estrazione e recuperatore di calore; non è presente la sezione di ricircolo. I ventilatori sono sempre in funzione tutto l'anno.

Il lato richiesta è direttamente collegato ai terminali di immissione ed estrazione di ogni gruppo di zone. Il terminale di immissione dell'aria adibita a ventilazione è un CAV (Constant Air Volume) no Reheat. Ad ogni terminale di immissione il software pretende che venga associato uno di estrazione. A causa di questa limitazione non è possibile simulare l'impianto reale, in quanto in alcuni locali si ha solo immissione o solo estrazione di aria. Si decide quindi di rendere il modello più simile possibile immettendo ed estraendo aria in tutti i locali in modo tale da rispettare la portata totale di progetto in uscita dal recuperatore. Entrando nel gruppo di zone è possibile modificare i dati tecnici relativi all'immissione in ambiente di ogni diffusore in ogni locale.

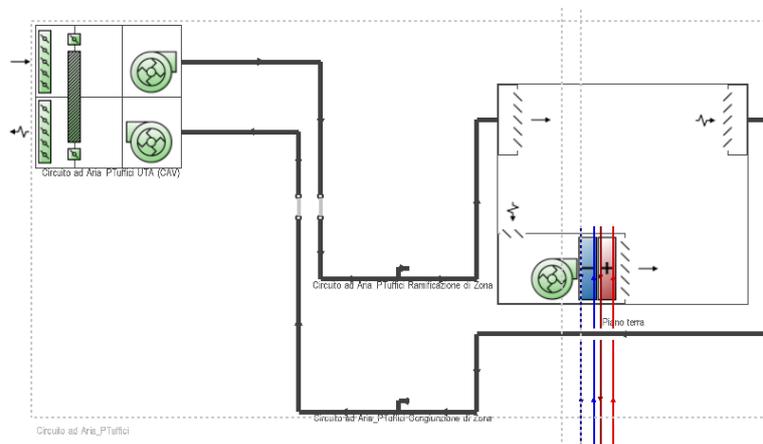


Figura 31 Circuito ad aria ventilazione Proposed Building collegato ad un gruppo di zone su DB

La zona Meeting Room del piano terra, come già descritto in precedenza, è dotata di un sistema di serrande motorizzate che controlla la portata di aria immessa in funzione dell'occupazione. Per simulare tale comportamento a livello di singola sala riunione viene inserita la schedule "Occupazione Sale Riunione" al terminale di immissione.

5.2.3.4 Circuito ACS

L'acqua calda sanitaria viene generata a livello di locale bagno mediante un preparatore rapido alimentato a corrente elettrica, quindi sarebbe corretto realizzare un boiler elettrico per ogni servizio igienico. A causa di una limitazione di Design Builder è necessario rappresentare un unico boiler elettrico, tenendo conto delle dimensioni dei singoli preparatori elettrici di ACS. Considerando che ogni boiler contiene 40 l di acqua e ha una potenza di 1 kW e che i boiler in totale sono in numero pari a nove, si ottiene un unico grande preparatore elettrico di ACS con volume pari a 360 l e potenza elettrica pari a 9 kW. Al generatore viene assegnato un programma della temperatura di setpoint secondo cui l'acqua calda sanitaria viene prodotta tutto l'anno ad una temperatura pari a 55 °C, temperatura che viene controllata anche dal Setpoint Manager posto all'uscita del preparatore. La pompa che serve per movimentare l'acqua calda sanitaria viene autodimensionata dal software.

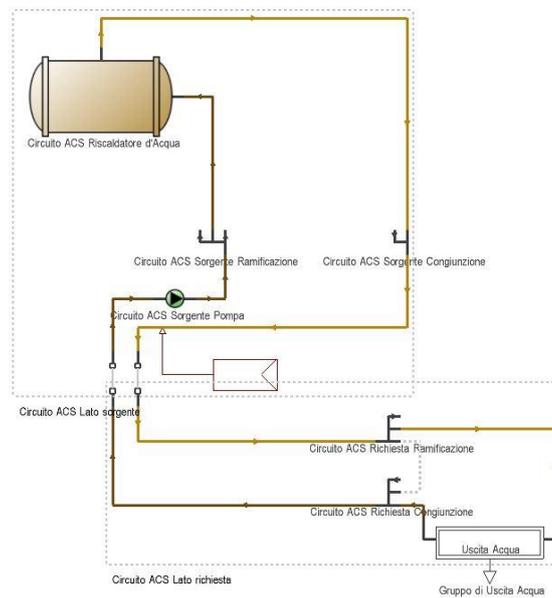


Figura 32 Circuito acqua calda sanitaria del Proposed Building realizzato su DB

5.3 Baseline Building

La creazione del Baseline Building, ossia l'edificio di riferimento in accordo con le linee guida contenute nella normativa ASHRAE 90.1-2010 Appendice G, è uno step necessario per poter effettuare il confronto con il Proposed Model come definito dal Performance Rating Method.

La normativa prevede la creazione di quattro edifici di riferimento identici tra loro ma ruotati rispettivamente di 0°, 90°, 180° e 270° rispetto al Proposed Building. I consumi energetici di ognuno di questi verranno valutati mediante simulazione dinamica e ne verrà poi fatta una media per ottenere un unico consumo energetico dell'edificio di riferimento espresso in Kwh annui. Tale valore verrà infine confrontato con il consumo energetico del modello reale in modo da ottenere la percentuale di miglioramento così definita nell'appendice G:

$$\% \text{miglioramento} = 100 * \frac{(\text{Baseline Building performance} - \text{Proposed Building performance})}{\text{Baseline Building Performance}}$$

La simulazione del Baseline Building deve avvenire con lo stesso programma di simulazione e stesso file climatico del Proposed Building.

In automatico il software Design Builder identifica la zona climatica americana corrispondente alla località scelta. Conviene comunque verificare la correttezza della zona perché da questa dipenderanno le caratteristiche del Baseline Building.

Secondo ASHRAE 90.1 2010, Appendice B – Building Envelope Climate Criteria, Tabella B-3 “International Climate Zones”, l'Italia corrisponde alla zona climatica 4. Per determinare la lettera con cui è indicato il tipo di clima della città di Collegno è necessario valutare alcuni parametri.

Alla lettera C infatti corrisponde “Marine definition”, che vale se la località rispetta i seguenti criteri:

- Temperatura media del mese più freddo compresa tra i -3 e i 18°C;
- Il mese più caldo ha una temperatura media inferiore a 22,2 °C;
- Si hanno almeno quattro mesi con temperatura media superiore a 10°C;
- La stagione secca è l'estate. Il mese più piovoso in inverno (ottobre-marzo) ha almeno tre volte la precipitazione mensile del mese più secco dell'anno.

Alla lettera B è invece associato un clima del tipo “Dry” che corrisponde al soddisfacimento dei seguenti requisiti:

- Il clima non è definito “Marine”;
- La precipitazione annua rispetta la seguente relazione:

$$\text{Precip [in]} < 0,44 * (\text{Tmedia [°C]} - 19,5)$$

Una località è caratterizzata dalla lettera A che definisce un clima “Moist” se non appartiene né alla B né alla C.

Il caso studio è situato a Collegno che è caratterizzato da un clima caldo e temperato, da una piovosità significativa durante tutto l’anno, anche nel mese più secco. La temperatura media dell’aria esterna è pari a 12,2°C, la piovosità media annuale è pari a 844 mm. Il mese più caldo è luglio con una temperatura media pari a 22,7°C. La differenza di piovosità tra il mese più secco e quello più caldo è pari a 69 mm.[6] La tabella seguente presenta una panoramica delle temperature medie mensili della località di interesse. [6]

Tabella 14 Temperature mensili Collegno

	Temperatura massima (°C)	Medie Temperatura (°C)	Temperatura minima (°C)	Precipitazioni (mm)
Gennaio	5	1.5	-1.9	37
Febbraio	7.6	3.7	-0.1	51
Marzo	12.4	7.8	3.3	69
Aprile	17.3	12.1	6.9	94
Maggio	21.9	16.4	11	106
Giugno	25.4	20	14.7	92
Luglio	28.3	22.7	17.2	56
Agosto	27	21.8	16.6	71
Settembre	23.2	18.3	13.5	69
Ottobre	16.9	12.7	8.5	84
Novembre	10.2	6.8	3.4	72
Dicembre	6.2	2.9	-0.3	43

Data: 1982 - 2012

Analizzando quindi i dati relativi alle condizioni climatiche della città di Collegno si desume che questa non possa rientrare né nella zona C, perché non soddisfa il secondo e il quarto requisito, né nella zona B, perché la piovosità è pari a 33,23 in che è maggiore di 15,16.

Non ricadendo né nella zona C né nella zona B, si può concludere che Collegno venga classificata come zona climatica 4a.

5.3.1 Definizione del sistema HVAC del Baseline Building

Il sistema HVAC del Baseline Building deve essere definito in accordo con la norma ASHRAE 90.1-2010, Appendice G, in base alla tipologia di edificio, alla superficie e alla fonte energetica primaria dell'edificio di progetto.

L'edificio oggetto di studio è una palazzina ad uso non residenziale costituita da 3 piani e una superficie netta climatizzata pari a circa 2020 m², che utilizza il gas metano come fonte di calore per il riscaldamento.

Dalla tabella seguente estratta dalla norma ASHRAE 90.1-2010 è possibile individuare la tipologia del sistema HVAC del Baseline Building: nel caso in analisi si tratta del System #3: Packaged rooftop air conditioner (PSZ- AC).

Tabella 15 Table G3.1.1A Tipologie di impianti per l'edificio di riferimento dallo standard ASHRAE 90.1- 2010

Building Type	Fossil Fuel, Fossil/Electric Hybrid, and Purchased Heat	Electric and Other
Residential	System 1—PTAC	System 2—PTHP
Nonresidential and 3 Floors or Less and <25,000 ft ²	System 3—PSZ-AC	System 4—PSZ-HP
Nonresidential and 4 or 5 Floors and <25,000 ft ² or 5 Floors or Less and 25,000 ft ² to 150,000 ft ²	System 5—Packaged VAV with Reheat	System 6—Packaged VAV with PFP Boxes
Nonresidential and More than 5 Floors or >150,000 ft ²	System 7—VAV with Reheat	System 8—VAV with PFP Boxes
Heated Only Storage	System 9—Heating and Ventilation	System 10—Heating and Ventilation

Notes:

Il Baseline System #3 avrà le seguenti caratteristiche definite nella tabella G3.1.1B della normativa ASHRAE 90.1-2010: sarà presente una batteria di riscaldamento a combustibile fossile, un sistema di raffrescamento ad espansione diretta e un ventilatore a portata costante per ogni zona termica.

Tabella 16 Table G3.1.1B Descrizione impianto dell'edificio di riferimento dallo standard ASHRAE 90.1- 2010

System No.	System Type	Fan Control	Cooling Type	Heating Type
1. PTAC	Packaged terminal air conditioner	Constant volume	Direct expansion	Hot-water fossil fuel boiler
2. PTHP	Packaged terminal heat pump	Constant volume	Direct expansion	Electric heat pump
3. PSZ-AC	Packaged rooftop air conditioner	Constant volume	Direct expansion	Fossil fuel furnace
4. PSZ-HP	Packaged rooftop heat pump	Constant volume	Direct expansion	Electric heat pump
5. Packaged VAV with Reheat	Packaged rooftop VAV with reheat	VAV	Direct expansion	Hot-water fossil fuel boiler
6. Packaged VAV with PFP Boxes	Packaged rooftop VAV with parallel fan power boxes and reheat	VAV	Direct expansion	Electric resistance
7. VAV with Reheat	VAV with reheat	VAV	Chilled water	Hot-water fossil fuel boiler
8. VAV with PFP Boxes	VAV with parallel fan-powered boxes and reheat	VAV	Chilled water	Electric resistance
9. Heating and Ventilation	Warm air furnace, gas fired	Constant volume	None	Fossil fuel furnace
10. Heating and Ventilation	Warm air furnace, electric	Constant volume	None	Electric resistance

Note:

For purchased chilled water and purchased heat, see G3.1.1.3.

Il sistema HVAC determinato per il Baseline Building non è adatto però alla zona bagni che è caratterizzata esclusivamente da riscaldamento nel Proposed Building: questa sarà solamente riscaldata anche nel Baseline Building con un sistema del tipo #9: Heating and Ventilation. Sarà presente un sistema ad aria a volume costante con una batteria di riscaldamento alimentata da acqua calda prodotta da una caldaia a combustibile fossile.

5.3.2 Struttura del Baseline Building

La procedura guidata per la creazione del Baseline Building su Design Builder genera un edificio con geometria identica a quella del Proposed. Il numero di piani, la superficie e i volumi condizionati devono essere identici a quelli dell'edificio di progetto. Anche la destinazione d'uso e le tipologie di spazi non devono essere modificate. L'edificio deve però essere simulato quattro volte con orientamenti diversi per ottenere un valore medio dell'edificio di riferimento.

Ad ogni locale è stato assegnato lo stesso valore di setpoint termico con analoghi profili temporali e stessi carichi interni dovuti a persone o apparecchi elettrici. Il carico interno dovuto all'illuminazione deve essere invece trattato diversamente.

La superficie vetrata verticale deve avere geometria identica a quella presente nel Proposed Building ma non deve superare il 40% della superficie esterna laterale totale dell'edificio; il caso studio in oggetto possiede una superficie vetrata inferiore al valore limite, pertanto le finestre del Baseline Building saranno identiche a quelle del Proposed. Non devono essere rappresentati sistemi di ombreggiamento esterni né sistemi di schermatura o tendaggi di tipo manuale. Nel nostro caso sono presenti tende diffusive a rullo, controllate manualmente, che non verranno inserite nel Baseline Building.

Le strutture dell'edificio devono essere del tipo indicato nella tabella G3.1 dell'appendice G e avere valori di trasmittanza termica indicati nelle tabelle 5.5 da 1 a 8 della ASHRAE 90.1-2010, in funzione della zona climatica. Le strutture devono essere del tipo:

- Tetti: Insulation entirely above deck;
- Pareti sopra terra: Steel-framed;
- Pavimenti: Steel-joist.

Vengono quindi riportate le tabelle estratte dalla norma relative al coefficiente di trasmittanza termica che deve essere individuato in funzione della zona climatica 4a e della destinazione d'uso.

Tabella 17 Table 5.5-4 Requisiti dell'involucro zona climatica 4 (A, B, C) dallo standard ASHRAE 90.1- 2010

Opaque Elements	Nonresidential		Residential		Semiheated	
	Assembly Maximum	Insulation Min. R-Value	Assembly Maximum	Insulation Min. R-Value	Assembly Maximum	Insulation Min. R-Value
<i>Roofs</i>						
Insulation Entirely above Deck	U-0.048	R-20.0 c.i.	U-0.048	R-20.0 c.i.	U-0.173	R-5.0 c.i.
Metal Building ^a	U-0.055	R-13.0 + R-13.0	U-0.055	R-13.0 + R-13.0	U-0.097	R-10.0
Attic and Other	U-0.027	R-38.0	U-0.027	R-38.0	U-0.053	R-19.0
<i>Walls, Above-Grade</i>						
Mass	U-0.104	R-9.5 c.i.	U-0.090	R-11.4 c.i.	U-0.580	NR
Metal Building	U-0.084	R-19.0	U-0.084	R-19.0	U-0.113	R-13.0
Steel-Framed	U-0.064	R-13.0 + R-7.5 c.i.	U-0.064	R-13.0 + R-7.5 c.i.	U-0.124	R-13.0
Wood-Framed and Other	U-0.089	R-13.0	U-0.064	R-13.0 + R-3.8 c.i.	U-0.089	R-13.0
<i>Walls, Below-Grade</i>						
Below-Grade Wall	C-1.140	NR	C-0.119	R-7.5 c.i.	C-1.140	NR
<i>Floors</i>						
Mass	U-0.087	R-8.3 c.i.	U-0.074	R-10.4 c.i.	U-0.137	R-4.2 c.i.
Steel-Joist	U-0.038	R-30.0	U-0.038	R-30.0	U-0.069	R-13.0
Wood-Framed and Other	U-0.033	R-30.0	U-0.033	R-30.0	U-0.066	R-13.0
<i>Slab-On-Grade Floors</i>						
Unheated	F-0.730	NR	F-0.540	R-10 for 24 in.	F-0.730	NR
Heated	F-0.860	R-15 for 24 in.	F-0.860	R-15 for 24 in.	F-1.020	R-7.5 for 12 in.
<i>Opaque Doors</i>						
Swinging	U-0.700		U-0.700		U-0.700	
Nonswinging	U-0.500		U-0.500		U-1.450	

I valori indicati nella tabella sono espressi in Imperial Units, un sistema di unità di misura di natura inglese, in cui il valore del coefficiente di trasmittanza termica U è espresso in Btu/h ft² °F. Le pareti esterne verranno quindi realizzate con una struttura avente trasmittanza termica pari a 0,365 W/m²K, le coperture pari a 0,273 W/m²K e i pavimenti esterni pari a 0,216 W/m²K. Anche i componenti vetrati del Baseline Building devono avere trasmittanze specifiche definite nella continuazione della tabella precedente in giunzione del tipo di telaio, della zona climatica e della destinazione d'uso.

Tabella 18 Table 5.5-4 Requisiti dell'involucro trasparente zona climatica 4 (A, B, C) dallo standard 90.1- 2010

Fenestration	Assembly Max. U	Assembly Max. SHGC	Assembly Max. U	Assembly Max. SHGC	Assembly Max. U	Assembly Max. SHGC
<i>Vertical Glazing, 0%–40% of Wall</i>						
Nonmetal framing (all) ^c	U-0.40		U-0.40		U-1.20	
Metal framing (curtainwall/storefront) ^d	U-0.50	SHGC-0.40 all	U-0.50	SHGC-0.40 all	U-1.20	SHGC-NR all
Metal framing (entrance door) ^d	U-0.85		U-0.85		U-1.20	
Metal framing (all other) ^d	U-0.55		U-0.55		U-1.20	
<i>Skylight with Curb, Glass, % of Roof</i>						
0%–2.0%	U _{all} -1.17	SHGC _{all} -0.49	U _{all} -0.98	SHGC _{all} -0.36	U _{all} -1.98	SHGC _{all} -NR
2.1%–5.0%	U _{all} -1.17	SHGC _{all} -0.39	U _{all} -0.98	SHGC _{all} -0.19	U _{all} -1.98	SHGC _{all} -NR
<i>Skylight with Curb, Plastic, % of Roof</i>						
0%–2.0%	U _{all} -1.30	SHGC _{all} -0.65	U _{all} -1.30	SHGC _{all} -0.62	U _{all} -1.90	SHGC _{all} -NR
2.1%–5.0%	U _{all} -1.30	SHGC _{all} -0.34	U _{all} -1.30	SHGC _{all} -0.27	U _{all} -1.90	SHGC _{all} -NR
<i>Skylight without Curb, All, % of Roof</i>						
0%–2.0%	U _{all} -0.69	SHGC _{all} -0.49	U _{all} -0.58	SHGC _{all} -0.36	U _{all} -1.36	SHGC _{all} -NR
2.1%–5.0%	U _{all} -0.69	SHGC _{all} -0.39	U _{all} -0.58	SHGC _{all} -0.19	U _{all} -1.36	SHGC _{all} -NR

*The following definitions apply: c.i. = continuous insulation (see Section 3.2), NR = no (insulation) requirement.

^aWhen using R-value compliance method, a thermal spacer block is required; otherwise use the U-factor compliance method. See Table A2.3.

^bException to Section A3.1.3.1 applies.

^cNonmetal framing includes framing materials other than metal with or without metal reinforcing or cladding.

^dMetal framing includes metal framing with or without thermal break. The "all other" subcategory includes operable windows, fixed windows, and non-entrance doors.

Per le finestre del caso studio caratterizzate da un telaio metallico intagliato, la trasmittanza deve essere pari a $3,12 \text{ W/m}^2\text{K}$ e un fattore solare SHGC (Solare Heat Gain Coefficient) pari a 0,4.

I carichi interni dovuti all'illuminazione devono essere determinati utilizzando la stessa procedura scelta per il Proposed Building (Space by Space) ma con potenze pari alle massime consentite per il metodo scelto definite nella Sezione 9.6. Per ogni spazio si deve determinare la tipologia tra quelle presenti nella tabella 9.6.1 e quindi determinare il valore del carico dovuto all'illuminazione, espresso in W/ft^2 . Per ogni locale è quindi necessario andare nel tab "Illuminazione" e scegliere tra i "Templates" presenti nella sezione ASHRAE 90.1-2010 quello corretto.

Come nel Proposed Building, è presente un sistema di controllo che permette lo spegnimento automatico di tutte le luci alla sera e un sistema di controllo del tipo on-off in ogni locale.

5.3.3 Impianto HVAC del Baseline Building

Una volta individuata la tipologia di impianto, costruito l'involucro e definiti i carichi interni, si procede alla modellazione delle componenti dell'impianto HVAC. Vengono quindi selezionati gli impianti #3 e #9 per le rispettive zone da climatizzare.

Per verificare il corretto dimensionamento dell'impianto, occorre verificare innanzitutto che il numero delle "Unmet hours" sia inferiore o uguale a 300, dove per "Unmet hours" si intendono le ore annuali in cui non vengono soddisfatti i set-point di progetto.

La portata di aria minima richiesta per la ventilazione deve essere uguale a quella definita nel Baseline Building per ogni locale climatizzato. La portata di aria immessa in ogni singolo locale servito dal sistema #3 deve essere dimensionata in modo da soddisfare il carico termico con una differenza di $20 \text{ }^\circ\text{F}$ (circa $11,1 \text{ }^\circ\text{C}$) tra la temperatura di immissione e quella di setpoint locale, oppure, se questa fosse inferiore a quella primaria, verrebbe imposta la maggiore delle due. La portata d'aria di immissione in ogni singolo locale servito dal sistema #9 deve essere dimensionata in modo da soddisfare il carico termico con una differenza di temperatura tra l'aria immessa a $105 \text{ }^\circ\text{F}$ ($40,56 \text{ }^\circ\text{C}$) e la temperatura di setpoint dell'aria in ambiente (20°C).

Per la zona climatica 4a, non deve essere presente alcun economizzatore (economizer). La portata d'aria di progetto del Baseline Building, dovendo coprire anche i carichi termici, è di molto superiore a quella dell'edificio di progetto, dove l'aria svolge solo il ruolo di ricambio d'aria. A seguito di ciò, per poter confrontare i due edifici, è necessario che sia presente un sistema di ricircolo che funzioni sempre utilizzando la portata minima di aria esterna, ma senza la presenza di un economizzatore.

Il dimensionamento di tutti i componenti (batterie, ventilatori, pompe) deve essere effettuato in modo automatico dal software per ogni orientamento. In particolare, il software deve sovradimensionare del 15% le batterie di raffrescamento e del 25% quelle di riscaldamento. Il recuperatore di calore sull'aria esausta deve essere inserito con efficienza minima di recupero del calore sensibile pari al 50%.

Tutti i componenti del Baseline Building devono essere modellati con le efficienze minime, in accordo con la Sezione 6.4 della norma. I valori qui indicati vengono caricati automaticamente dal software in base al Proposed Building e alla zona climatica. La batteria di raffrescamento è caratterizzata da un COP pari a 3, quella di riscaldamento da un'efficienza nominale pari a 0,8.

La potenza del sistema di ventilatori elettrici per l'immissione, il ritorno, l'estrazione e l'espulsione di aria del sistema #3 deve essere calcolata utilizzando la seguente formula:

$$P_{fan} = \frac{bhp * 746}{Fan Motor Efficiency}$$

dove

- P_{fan} =Potenza elettrica assorbita dal ventilatore [W];
- bhp= brake horsepower del motore del ventilatore baseline, indicato nella tabella G3.1.2.9, ossia la potenza in input;
- Fan Motor Efficiency= efficienza del ventilatore indicata nella tabella 10.8B

Il valore di potenza calcolato automaticamente dal software per il sistema ventilatori deve essere distribuito tra immissione, estrazione, ritorno in modo analogo a quanto fatto nel Proposed Building.

La batteria di riscaldamento del sistema #3 deve essere alimentata da una caldaia avente lo stesso combustibile di quella del Proposed Model, ossia gas naturale. Nel lato sorgente del circuito ad aria del sistema #3 sono presenti due controllori, uno controlla la variabile "Temperatura media del raffrescamento multizona" ed è posto immediatamente dopo la batteria di raffrescamento, l'altro la variabile "Temperatura media del riscaldamento multizona" ed è posto dopo l'UTA. Il primo viene utilizzato per stabilire un setpoint per la temperatura di mandata dell'aria del sistema HVAC sulla base dei carichi di raffreddamento sensibile previsti. Per tutte le zone dotate di un termostato, il setpoint manager calcola la temperatura dell'aria di immissione in grado di soddisfare i carichi di raffreddamento di zona in base alla reale portata della massa d'aria. Il secondo, analogamente al primo, viene utilizzato per stabilire un setpoint per la temperatura di mandata dell'aria in grado di soddisfare i carichi di riscaldamento di zona in base alla reale porta di aria. Il lato richiesta del circuito ad aria del sistema #3 è collegato a dei diffusori a volume costante, senza la presenza di post-riscaldamento di zona.

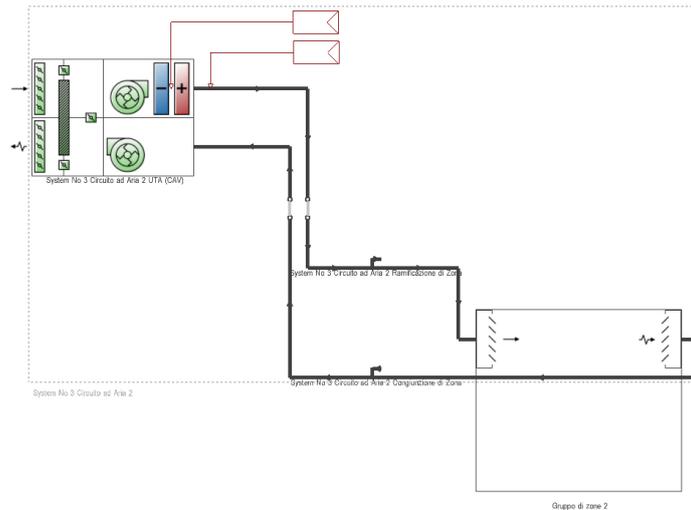


Figura 33 Sistema #3 del Baseline Building realizzato su DB

Il sistema #9 è un sistema ad aria la cui UTA non è dotata di un ventilatore di estrazione e quindi non è dotata di recuperatore di calore. Nell'UTA è presente una batteria di riscaldamento alimentata a gas naturale di efficienza pari a 0,8. Sul lato richiesta è presente un setpoint manager che controlla la variabile "Temperatura media del riscaldamento multizona", come nel sistema #3. Anche in questo caso i diffusori nella zona bagni sono del tipo a volume costante, senza post-riscaldamento.

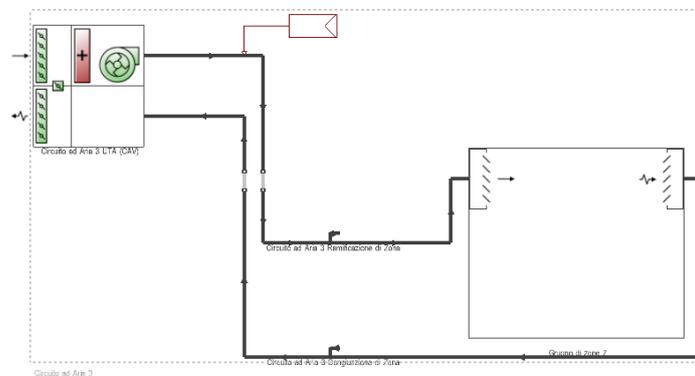


Figura 34 Sistema #9 dei bagni del Baseline Building realizzato su DB

Come richiesto dalla norma si realizzano sette impianti del tipo #3, uno per ogni zona termica incluso il CED, e tre impianti del tipo #9 per i bagni, uno per ogni piano dell'edificio. Definendo gli stessi profili di funzionamento del Proposed Building e controllando portate e parametri dell'impianto, si è proceduto con la simulazione per effettuare i calcoli di dimensionamento. Si controlla che il numero di Unmet hours sia inferiore a 300: se non è così si modifica manualmente la batteria di riscaldamento. Nel caso oggetto di studio il numero di Unmet hours è inferiore a 300, quindi l'impianto non viene modificato. Il circuito dell'acqua calda sanitaria viene generato identico a quello del Proposed Building, viene quindi realizzato un unico boiler elettrico di ACS di volume pari a 360 litri e potenza elettrica massima di 9 kW.

Nelle tabelle seguenti è presente un confronto delle caratteristiche dell'edificio e del sistema impianto tra il Proposed e il Baseline Building.

Tabella 19 Confronto struttura e carichi interni tra l'edificio di progetto e quello di riferimento

COMPONENTE DELL'EDIFICIO		PROPOSED BUILDING	BASELINE BUILDING
Pareti fuori terra	Area lorda [m ²]	1359	1359
	U [W/m ² K]	valore medio: 0,254	0,362
Copertura	Area lorda	781,4	781,4
	U [W/m ² K]	0,262	0,273
Pavimento su interrato non riscaldato	Area lorda	781,4	781,4
	U [W/m ² K]	0,318	0,342
Parete verso vano scale	Area lorda	219,82	219,82
	U [W/m ² K]	0,288	0,694
Superfici vetrate	Area totale	458,2	458,2
	Uw [W/m ² K]	valore medio: 1,748	3,12
	SHGC	0,65	0,4
	Schermi	Tende a rullo diffondenti	-
Ventilazione meccanica		Presente	Presente
Carichi interni	Attività metabolica [W/pers]	120	120
	Programma	Schedule occupazione	Schedule occupazione
	Densità occupazione media [pers/ m ²]	0,123	0,123

Tabella 20 Confronto impianto HVAC tra l'edificio di progetto e quello di riferimento

HVAC system		PROPOSED BUILDING	BASELINE BUILDING
Impianto di riscaldamento principale	Fonte	Gas naturale	Gas naturale
	Generatore	Caldaia a condensazione 105 kW	Batteria di riscaldamento
	Efficienza nominale	0,974	0,8
Impianto di raffrescamento	Fonte	Elettricità	Elettricità
	Generazione	Pompa di calore aria/acqua 78,33 kW	Batteria di raffrescamento
	COP	3,71	3
Impianto ACS	Tipo	Boiler elettrico	Boiler elettrico
	Volume accumulo [l]	360	360
	Potenza elettrica [W]	9000	9000
Illuminazione interna	Potenza [W/ m ²]	3	ASHRAE 90,1 Space by Space method (tab 9.6.1) valore medio: 10
Apparecchi elettrici	Potenza [W/ m ²]	valore medio: 14,90	valore medio: 14,90

6. Risultati delle simulazioni dinamiche

La simulazione energetica dinamica dell'edificio permette di ottenere risultati dettagliati sui consumi e sulle prestazioni dell'edificio. Si analizzano di seguito i risultati ottenuti effettuando una simulazione giornaliera, che necessita di un significativo costo computazionale per essere effettuata. L'anno di riferimento per le condizioni climatiche di Torino Caselle è il 2002. I dati climatici includono la variazione oraria delle temperature esterne, dell'incidenza della radiazione solare e della velocità del vento. Di seguito viene riportato l'andamento giornaliero della temperatura esterna dell'aria durante l'anno di riferimento.

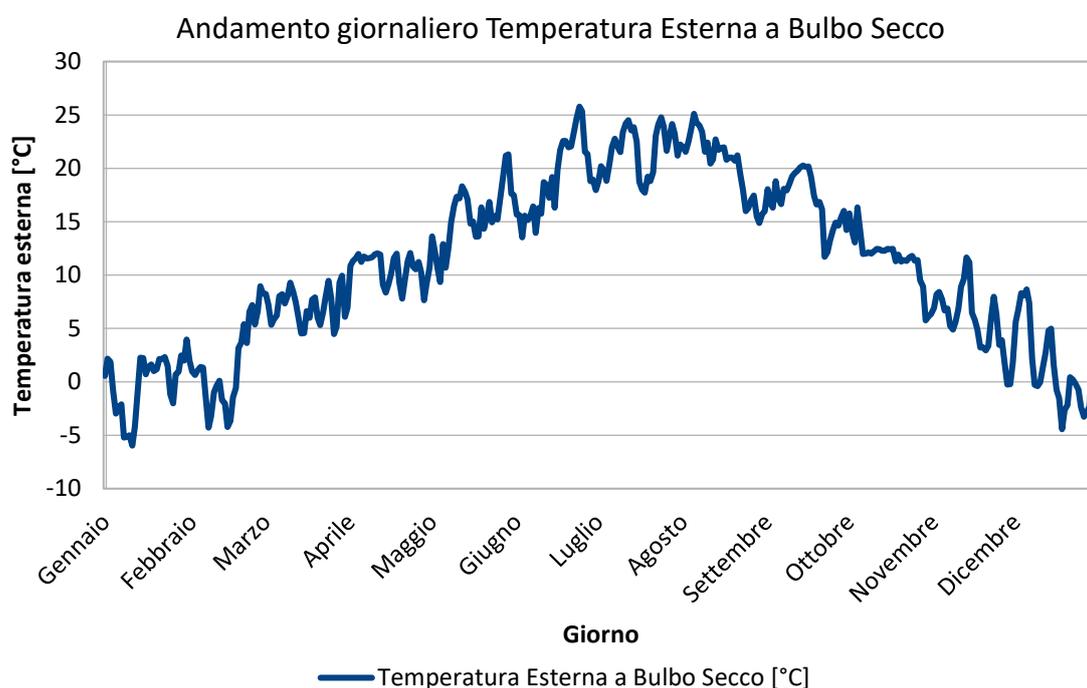


Figura 35 Andamento giornaliero della temperatura esterna

Durante l'anno di riferimento la temperatura esterna media giornaliera varia da un minimo di -6°C durante il periodo invernale ad un massimo di 26°C durante il periodo estivo, con picchi orari inferiori ai 10°C in inverno e superiori ai 30°C in estate.

Il software Design Builder in seguito alla simulazione genera un file esportabile in formato "html" che contiene numerose informazioni, alcune delle quali possono essere richieste dall'utente prima dell'inizio della simulazione. Un estratto del report finale di riepilogo dell'edificio di progetto viene riportato in allegato (Allegato C).

Effettuando la simulazione ci si accorge immediatamente della presenza di due brevi periodi di discomfort elevato, corrispondenti al periodo tra il 15 aprile e il 15 maggio e tra il 15 settembre e il

15 ottobre. In questi periodi, infatti, la temperatura in alcuni locali scende sotto i 20°C. Il grafico sottostante mostra l'andamento di alcune grandezze per una delle zone più critiche, l'ufficio Digisky situato al primo piano, blocco est, con una sola parete esterna esposta a nord. Si noti che in questo grafico sono incluse le domeniche che non andrebbero considerate in quanto l'edificio non è occupato in tali giornate. I maggiori picchi di discomfort corrispondono per l'appunto alle domeniche, pertanto sono da trascurare. Nonostante ciò, il PPD dei giorni lavorativi di quelle settimane è molto elevato: in parte per l'assenza del riscaldamento, in parte per l'assenza di una sezione di umidificazione nell'UTA.

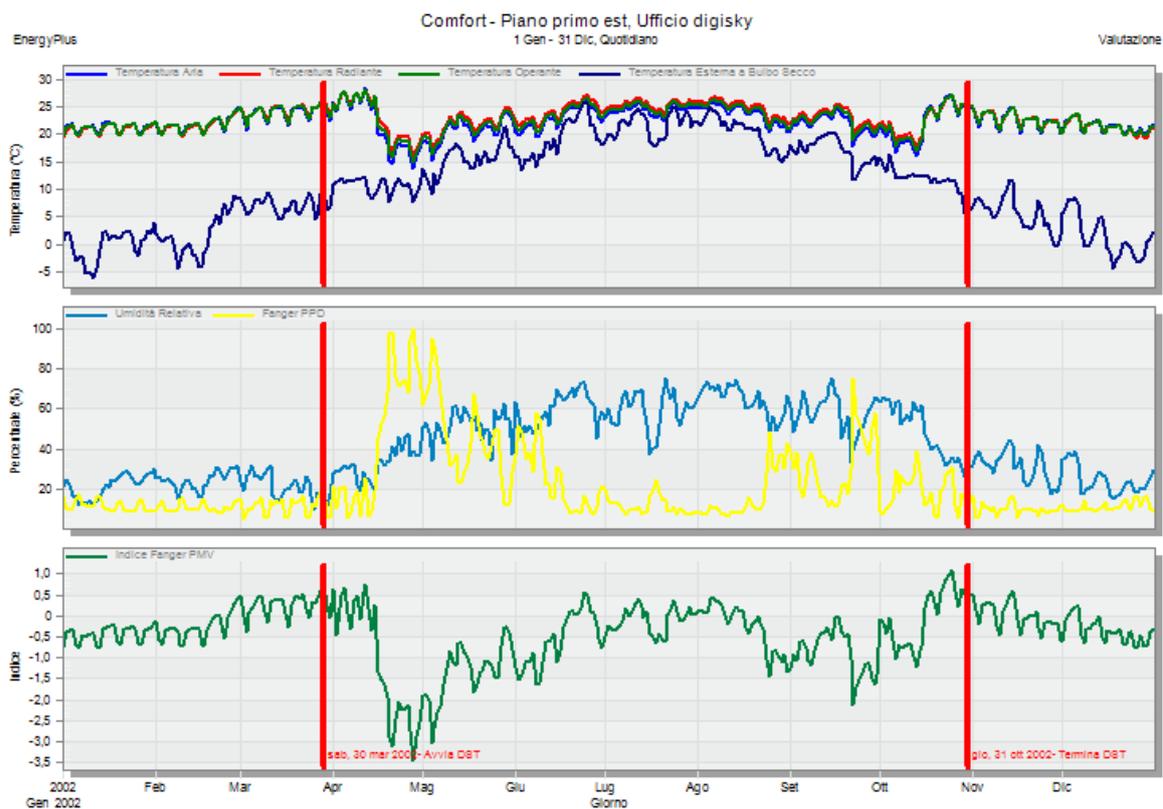


Figura 36 Andamento giornaliero comfort ufficio Digisky stagione riscaldamento standard Proposed Building

In tale periodo, infatti, nonostante la temperatura esterna sia ancora bassa (oscilla intorno ai 10 °C) l'attuale legge in vigore impone che il riscaldamento venga spento. L'articolo 9 del DPR 412/93 "Limiti di esercizio degli impianti termici" definisce infatti il periodo di funzionamento dell'impianto di riscaldamento per gli edifici situati in zona climatica E dal 15 ottobre al 15 aprile. Tale legge specifica però che "al di fuori di tali periodo gli impianti termici possono essere attivati solo in presenza di situazioni climatiche che ne giustificano l'esercizio". Il decreto in questione, che risale per l'appunto al 1993, è antiquato e predilige il risparmio dei consumi a discapito del benessere degli occupanti. Il periodo seguente al 15 aprile e antecedente il 15 ottobre è di fatto il periodo in cui vi è maggiore discomfort perché la temperatura interna non è controllata e il clima non sempre

è mite. Proprio per questo motivo nell'edificio di progetto si decide di far funzionare l'impianto dal 15 settembre fino al 15 maggio, estendendo di due mesi la stagione di riscaldamento standard. Per evitare però un surriscaldamento dell'aria ambiente si spegne il recuperatore di calore dal 15 aprile in poi e fino al 15 ottobre, immettendo in ambiente aria pulita alla temperatura esterna. Anche in questo caso si potrebbe migliorare la situazione inserendo un termostato ambiente collegato al recuperatore che gli permetta di fare freecooling nel caso in cui la temperatura interna sia eccessivamente elevata. Nel caso oggetto di studio, comunque, questo funzionamento non è presente quindi si procede con l'analisi spegnendo il recuperatore ed estendendo il periodo di riscaldamento del circuito ad acqua calda. In questo modo, come è visibile dal grafico seguente, nell'ufficio Digisky ora si raggiunge un grado di comfort maggiore, comunque non sufficiente a causa dell'umidità relativa eccessivamente bassa.

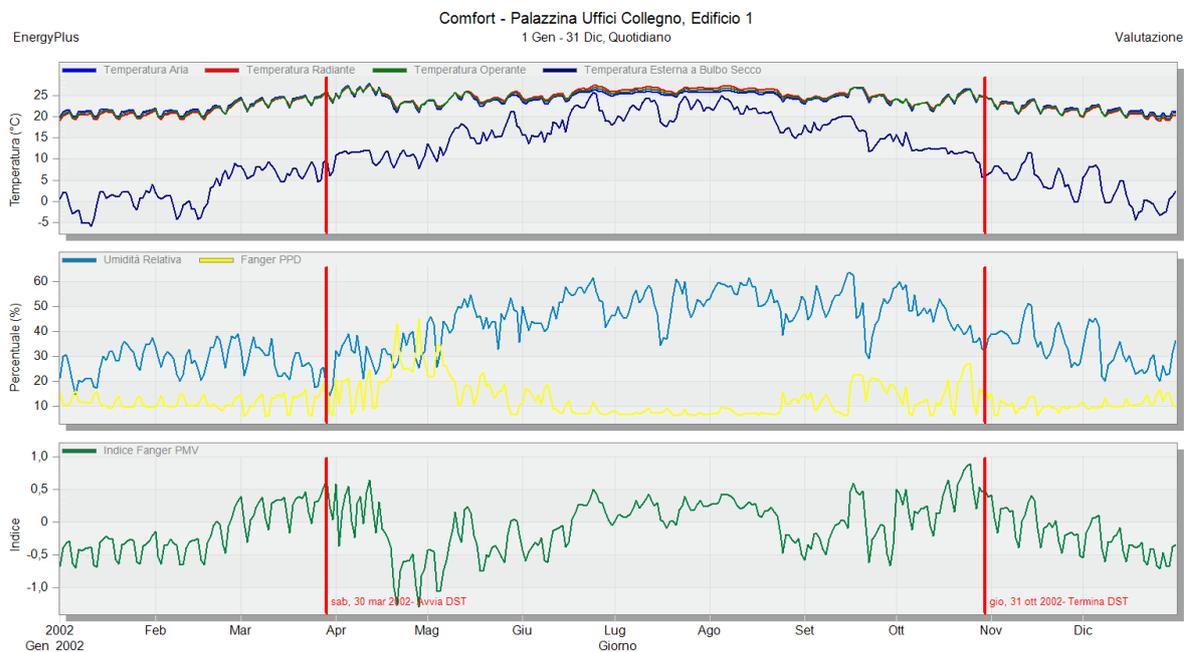


Figura 37 Andamento giornaliero comfort ufficio Digisky riscaldamento 15 set- 15 mag Proposed Building

L'analisi seguente e quindi la valutazione dei crediti LEED verrà svolta basandosi su quest'ultima impostazione di funzionamento che vede estendere il periodo di riscaldamento standard.

La quantità di energia netta richiesta dall'edificio considerando la presenza dei pannelli fotovoltaici è pari a 204.006,90 kWh, corrispondente a un'energia netta per unità di superficie totale pari a 67,87 kWh/m². Considerando i fattori di conversione in energia primaria riconosciuti in Italia, pari a 2,174 per l'energia elettrica e 1,05 per il gas, il consumo totale di energia primaria risulta pari a 155,09 kWh/m².

Tabella 21 Uso di energia per superficie lorda Proposed Building

	Electricity Intensity [kWh/m ²]	Natural Gas Intensity [kWh/m ²]	Additional Fuel Intensity [kWh/m ²]	District Cooling Intensity [kWh/m ²]	District Heating Intensity [kWh/m ²]	Water Intensity [m ³ /m ²]
Lighting	5.58	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
HVAC	34.59	7.51	0.00	0.00	0.00	0.44
Other	27.54	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	67.71	7.51	0.00	0.00	0.00	0.44

Il maggior consumo di elettricità è quindi legato al funzionamento dell'impianto, seguito dalla presenza degli apparecchi elettrici. L'illuminazione a LED ad alta efficienza influisce relativamente poco sul consumo di energia elettrica. Nella tabella di seguito mostrata estratta dal report della simulazione annuale è possibile vedere nel dettaglio l'utilizzo di energia nei diversi usi finali.

Tabella 22 Usi finali di energia Proposed Building

	Electricity [kWh]	Natural Gas [kWh]	Water [m ³]
Heating	2001.20	22556.64	0.00
Cooling	25277.16	0.00	0.00
Interior Lighting	16788.78	0.00	0.00
Interior Equipment	79166.75	0.00	0.00
Fans	28751.52	0.00	0.00
Pumps	2882.78	0.00	0.00
Heat Recovery	3618.84	0.00	0.00
Water Systems	45059.22	0.00	1330.56
Total End Uses	203546.22	22556.64	1330.56

Il consumo di gas naturale ammonta a 22.556,64 kWh circa, per un totale di circa 2.250 Sm³; l'energia elettrica consumata risulta invece pari a 203.546,22 kWh. Nel grafico seguente è possibile individuare i maggiori responsabili del consumo di energia elettrica.

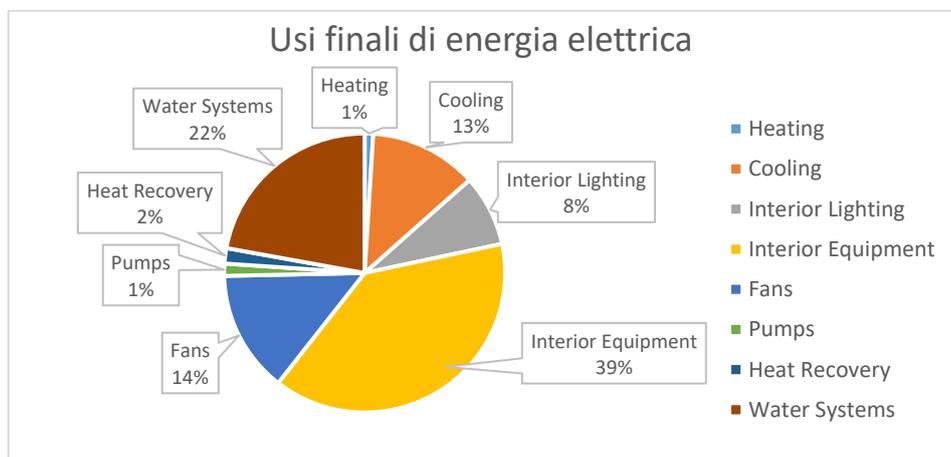


Figura 38 Grafico a torta usi finali di energia elettrica Proposed Building

Il consumo di energia elettrica legato al riscaldamento e quello legato al funzionamento delle pompe è del tutto trascurabile. Il consumo è per lo più imputabile al funzionamento degli apparecchi elettrici (39%) e al sistema di produzione di acqua calda sanitaria (22%): gli apparecchi elettrici, infatti, sono numerosi in quanto la maggior parte dei locali sono costituiti da uffici dotati di diversi computer, mentre il sistema di produzione dell'ACS è alimentato a corrente elettrica e ha un funzionamento continuo, eccetto il periodo dello spegnimento notturno. Il consumo dovuto al raffrescamento e ai ventilatori è quantitativamente simile e relativamente significativo, rispettivamente pari al 13% e al 14% del consumo totale.

Nella tabella seguente vengono mostrati i consumi elettrici riferiti alla superficie lorda dell'edificio.

Tabella 23 Consumo di energia elettrica per unità di superficie lorda

	Electricity [kWh/m²]
Interior Lighting (All)	5.58
Space Heating	0.67
Space Cooling	8.41
Fans (All)	9.56
Service Water Heating	14.99
Receptacle Equipment	26.34
Miscellaneous (All)	67.71
Subtotal	67.71

Rappresentando i consumi alla superficie è interessante notare come gli apparecchi elettrici abbiano un consumo per unità di superficie decisamente superiore rispetto agli altri usi.

Il consumo di acqua potabile risulta pari a 1330 m³ all'anno. Il recuperatore di calore, con efficienza pari a 0,855, consente un risparmio di energia notevole durante l'inverno, permettendo di recuperare 140.138,41 kWh di calore.

Il numero delle ore in cui il setpoint termico non è rispettato è uguale a 90 nel periodo di riscaldamento e circa 70 nel periodo di raffrescamento. Durante l'inverno le ore in cui il setpoint non è soddisfatto corrispondono a sabati e domeniche in cui l'occupazione dell'edificio è ridotta o nulla. Le ore in cui il setpoint termico non è soddisfatto nel periodo di raffrescamento sono distribuite uniformemente negli uffici esposti a est e a sud, a causa dell'eccessiva radiazione solare. Il numero di ore risulta basso ma per ridurlo ulteriormente sarebbe possibile modificare gli elementi schermanti o aggiungere delle sporgenze orizzontali che deviano la luce solare. Secondo lo standard ASHRAE 90.1-2010, per verificare la corretta progettazione dell'impianto è necessario che il numero delle ore in cui il setpoint termico non è soddisfatto sia inferiore a 300.

Il grafico seguente mostra l'andamento delle dispersioni attraverso l'involucro opaco e trasparente durante l'anno: è evidente come le vetrate siano i maggiori responsabili delle dispersioni termiche.

Durante l'estate le altre dispersioni incidono relativamente poco sul totale e oscillano molto meno che durante l'inverno; durante il periodo estivo, infatti, le superfici trasparenti sono responsabili di elevati apporti interni che causano un repentino innalzamento della temperatura dell'aria dell'ambiente interno e che devono quindi essere compensati dall'impianto di raffrescamento. Nel periodo invernale tutte le dispersioni eccetto quelle dovute alle pareti esterne oscillano molto. Durante questo periodo, oltre al carico relativamente elevato dovuto alle dispersioni attraverso le vetrate, assumono una certa rilevanza anche le dispersioni attraverso le coperture.

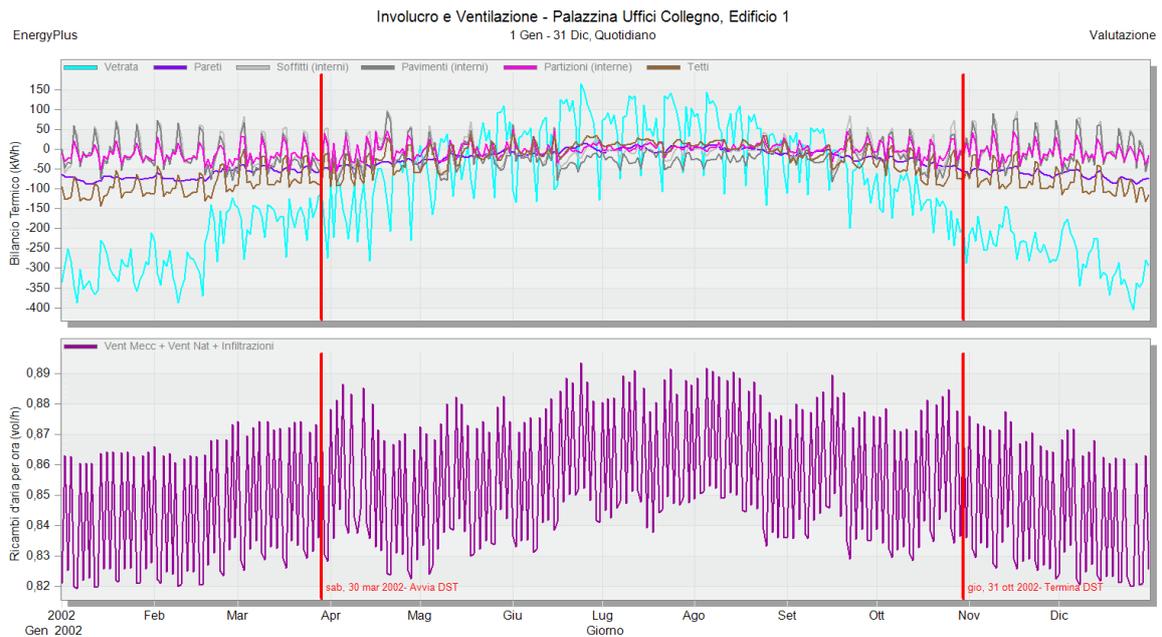


Figura 39 Andamento giornaliero dispersioni involucro e ricambi d'aria per ora del Proposed Building

Si può inoltre osservare l'andamento dei ricambi d'aria per ora che dipende soprattutto dall'occupazione e dal sistema di ventilazione meccanica. Nell'edificio di progetto il numero di ricambi d'aria per ora oscilla tra 0,82 vol/h e 0,89 vol/h.

L'occupazione è responsabile di un elevato carico interno sensibile e latente che deve essere compensato dall'impianto. Il corpo umano infatti è un sistema aperto che rilascia calore sensibile in ambiente ed emana vapore tramite sudorazione per mantenere la temperatura corporea intorno ai 37°C. Nel grafico seguente è possibile osservare l'andamento dei due apporti gratuiti, l'occupazione e gli apporti solari attraverso le finestre. I carichi sensibili e latenti dovuti alla presenza di persone nell'edificio seguono un andamento ciclico analogo al profilo di occupazione dei locali. Il carico dovuto agli apporti solari segue anch'esso un andamento periodico legato al ciclo giornaliero del sole ma presenta dei picchi molto elevati nel periodo estivo, quando la radiazione solare causa un surriscaldamento degli ambienti.

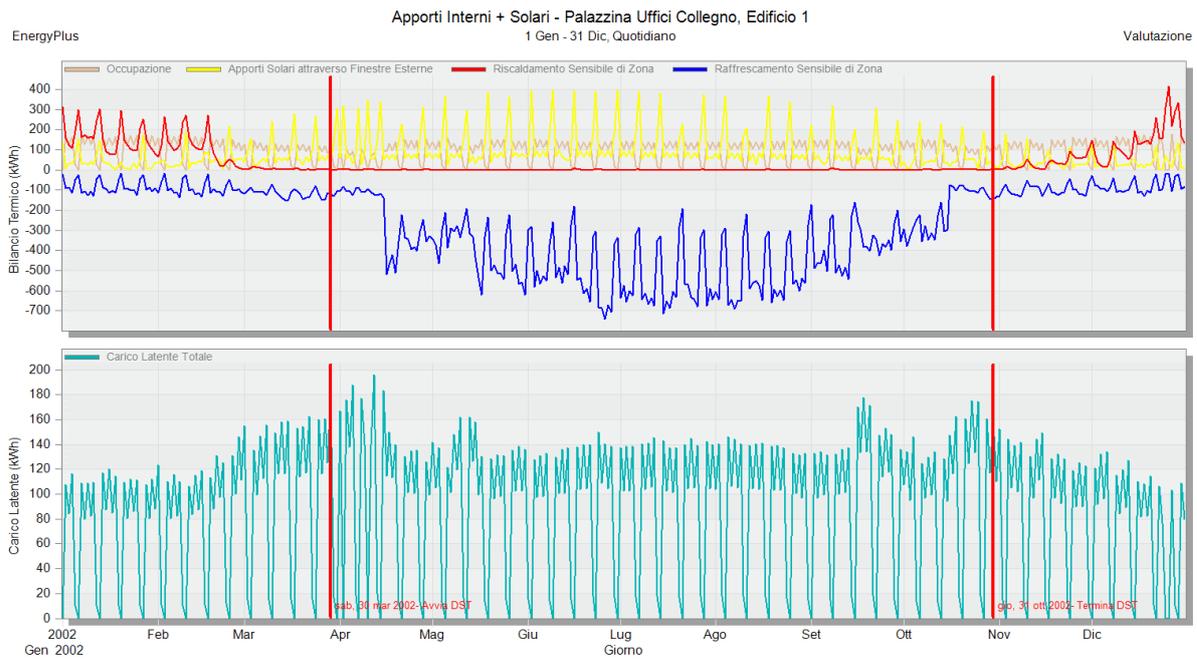


Figura 40 Andamento giornaliero apporti interi e solari Proposed Building

A causa della presenza di apporti interni intermittenti, della radiazione solare e della variazione della temperatura esterna è possibile visualizzare un andamento altalenante dei carichi dell'impianto durante l'anno.

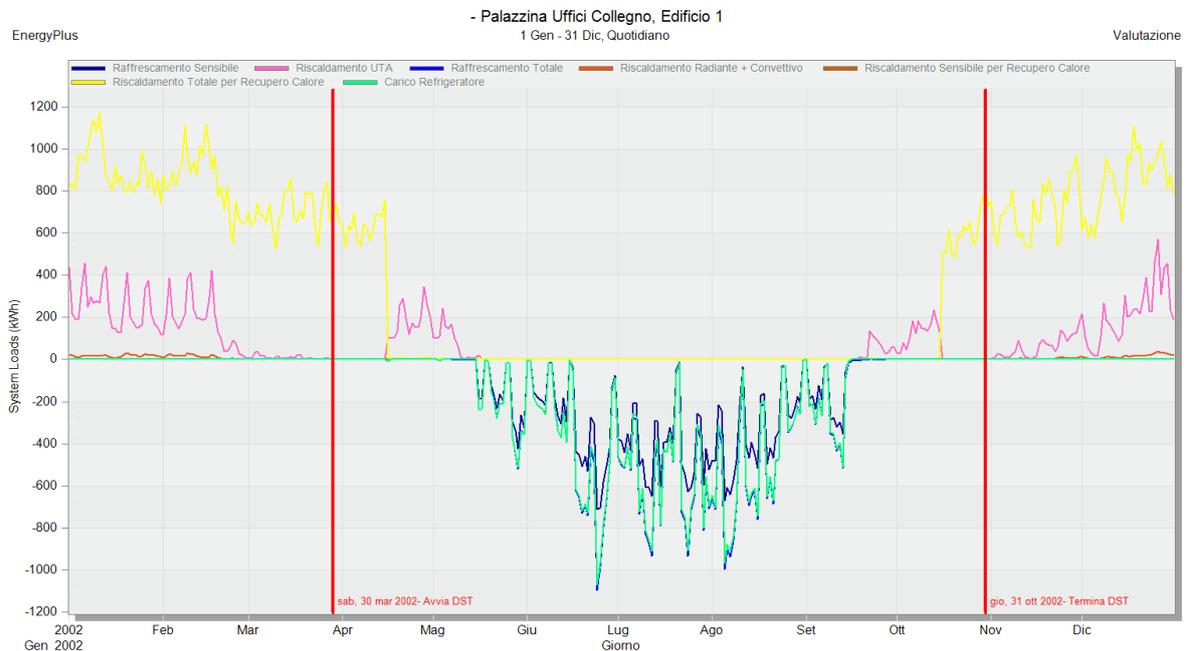


Figura 41 Andamento giornaliero dei carichi del sistema Proposed Building

Il riscaldamento gestito da fancoil e radiatori funziona dal 15 ottobre al 15 maggio: a causa dell'eccessivo recupero di calore in alcuni periodi la caldaia risulta spenta. Durante l'inverno il recuperatore, altamente efficiente, copre gran parte del carico termico facendo lavorare molto

meno la caldaia. Come già evidenziato in precedenza, nei periodi di transizione dal 16 aprile al 15 maggio e dal 16 settembre al 15 ottobre il recuperatore di calore è spento: se fosse acceso infatti causerebbe un eccessivo surriscaldamento dell'ambiente interno con temperature fino a 30 °C. Durante i suddetti periodi quindi è in funzione solamente il riscaldamento alimentato dall'acqua calda prodotta dalla caldaia, che permette di regolare accuratamente la temperatura interna e riscaldare l'ambiente solo quando necessario. Nel periodo estivo il recuperatore non funziona e il carico è gestito completamente dai terminali alimentati ad acqua fredda prodotta dal refrigeratore.

I consumi del sistema sono ripartiti come indicato nella figura seguente. L'energia elettrica consumata per il raffrescamento segue l'andamento del refrigeratore, quella consumata per riscaldamento segue il profilo di funzionamento della caldaia. Il consumo dei ventilatori è circa costante perché sono in funzione 24 ore su 24 tutti i giorni, quello dovuto alla produzione dell'ACS segue un andamento ciclico identico tutti i giorni, con un andamento alternato dovuto allo spegnimento notturno. In verde è poi presente l'energia elettrica prodotta dai pannelli fotovoltaici presenti sulla copertura, che è ragionevolmente maggiore nel periodo estivo.

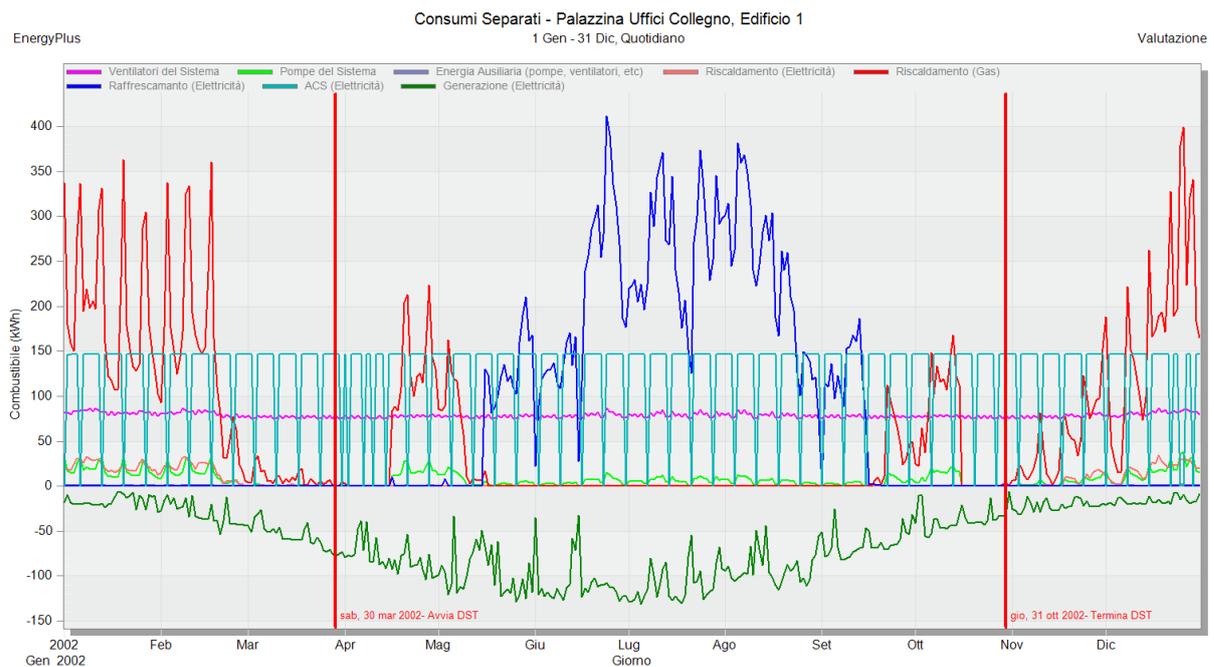


Figura 42 Andamento giornaliero consumi separati per uso finale Proposed Building

Noti i consumi e il comportamento dell'edificio di progetto è possibile proseguire analizzandolo e confrontandolo con l'edificio di riferimento.

6.1 Valutazione del prerequisito “Minimum Energy Performance” e del credito “Optimize Energy Performance”

Design Builder è dotato di un apposito tab nella sezione “Simulazioni” dedicato all’analisi contemporanea del Proposed e del Baseline Building, chiamato “ASHRAE 90.1”. Posizionandosi a livello del suddetto tab la simulazione viene effettuata sia per l’edificio reale che per quello di riferimento, ruotato secondo quanto richiesto dalla norma ASHRAE 90.1-2010. La simulazione del Baseline Building viene quindi automaticamente effettuata per l’edificio ruotato di 0°, 90°, 180° e 270° rispetto al Proposed Building e vengono visualizzati i dati relativi alla media delle quattro simulazioni. Alla fine, si ottiene quindi un confronto tra il consumo energetico espresso in kWh/annui dell’edificio di progetto e la media delle quattro rotazioni dell’edificio di riferimento.

Effettuando la simulazione in presenza di fotovoltaico il Proposed Building presenta un consumo pari a 226.132 kWh, il 47,58% in meno di quello del Baseline Building, pari a 431.401,0 kWh. Il miglioramento anche senza la presenza di fotovoltaico sarà sicuramente superiore al prerequisito minimo “Minimum Energy Performance”, pari al 5%. Il miglioramento dei consumi risulta quindi pari al 47,58%, pertanto si acquisiscono 17 punti su un massimo di 18 del credito “Optimize Energy Performance”. Di seguito è mostrato il grafico che si ottiene a seguito della simulazione annuale secondo ASHRAE 90.1 -2010 sul software Design Builder.

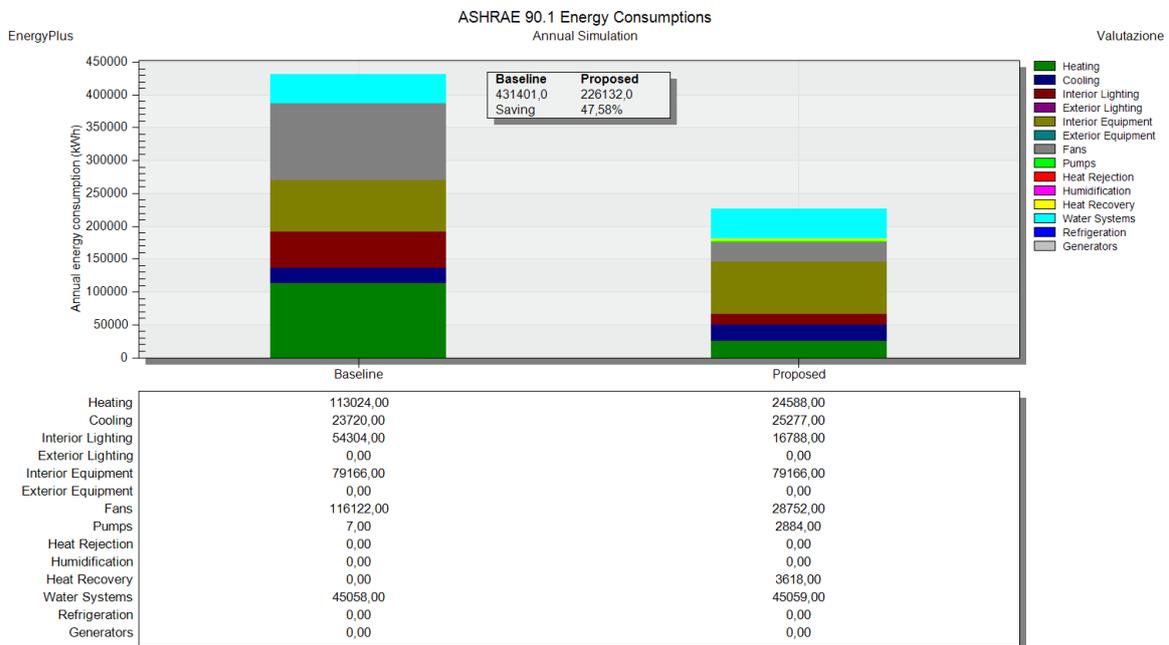


Figura 43 Confronto consumi Proposed Vs Baseline Building

Analizzando i risultati è evidente che l’edificio di progetto risulta molto più efficiente nel periodo invernale grazie alla presenza della caldaia a condensazione modulante che è caratterizzata da un rendimento elevato. Nel Baseline Building invece ogni UTA è dotata di una propria batteria

alimentata a gas naturale che ha un rendimento di generazione pari a 0,8, estremamente basso. Inoltre, il recuperatore di calore dell'edificio di riferimento ha un'efficienza di recupero pari solo a 0,5, molto inferiore rispetto a quella del recuperatore dell'edificio di progetto pari a 0,855. Ciò significa che mentre nell'edificio di progetto viene recuperata una grande quantità di calore, pari a 140.138,41 kWh, nell'edificio di Baseline si recupera molto meno, solo 122.703,99 kWh, quindi è necessario uno sforzo maggiore della batteria di riscaldamento per mantenere le condizioni di comfort interne. Inoltre, l'edificio di riferimento deve trattare una portata di aria esterna di molto superiore rispetto a quella dell'edificio di progetto perché questa deve coprire anche i carichi termici. Nel grafico seguente vengono mostrati gli andamenti dei carichi interni del Baseline Building. Avendo impostato profili di funzionamento identici a quelli degli impianti dell'edificio di progetto, l'accensione e lo spegnimento dei diversi sistemi è lo stesso. Si nota chiaramente come il recupero di calore sia decisamente inferiore rispetto all'edificio di progetto e proprio per questo si ha un aumento del carico per riscaldamento dell'UTA. Il carico per raffrescamento mostra un andamento analogo a quello del Proposed Building, con picchi corrispondenti alle giornate più calde.

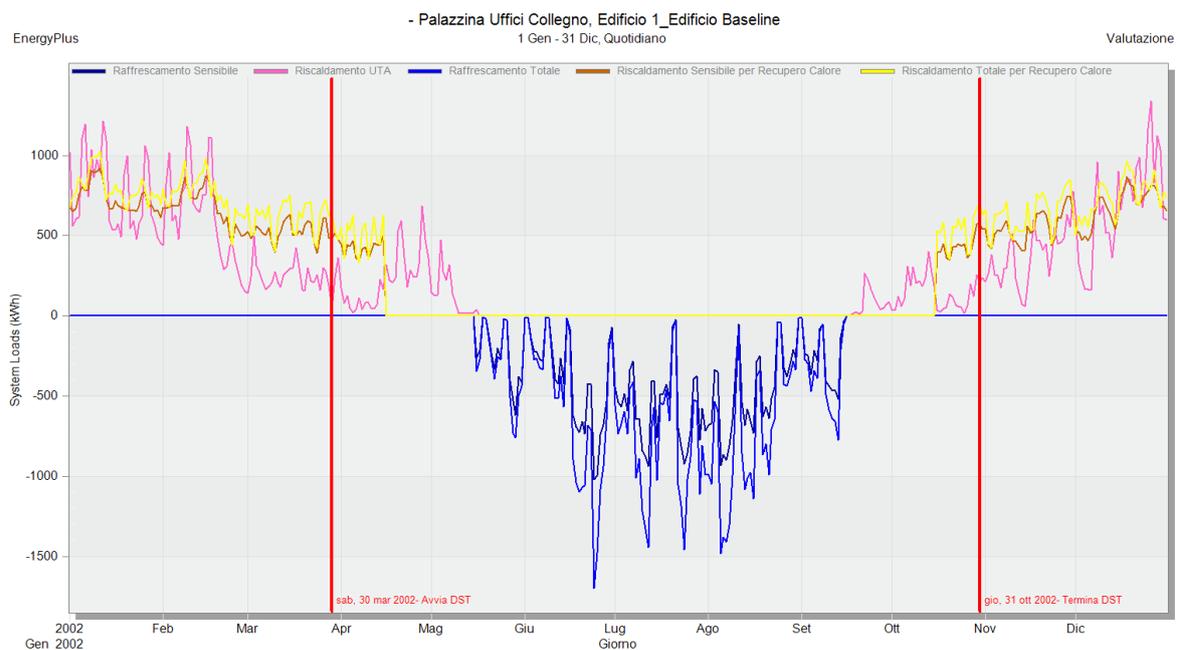


Figura 44 Andamento giornaliero carichi del sistema Baseline

Nel grafico seguente è mostrato l'andamento dei ricambi d'aria per ora dell'edificio di riferimento, che oscilla tra 1,05 e 1,09 vol/h, e l'andamento delle dispersioni. Il consumo per riscaldamento del Baseline Building, infatti, risulta di molto superiore rispetto a quella dell'edificio di progetto anche a causa delle caratteristiche termiche dell'involucro che sono peggiori. In particolare, le vetrate dell'edificio di riferimento che hanno una trasmittanza di 3,12 W/m²K, quasi doppia rispetto a

quelle dell'edificio di progetto, sono responsabili di grandissima parte delle dispersioni termiche. Nelle giornate più fredde queste causano dispersioni fino a 800 kWh, esattamente il doppio di quello che si raggiunge nelle medesime giornate nell'edificio di progetto.

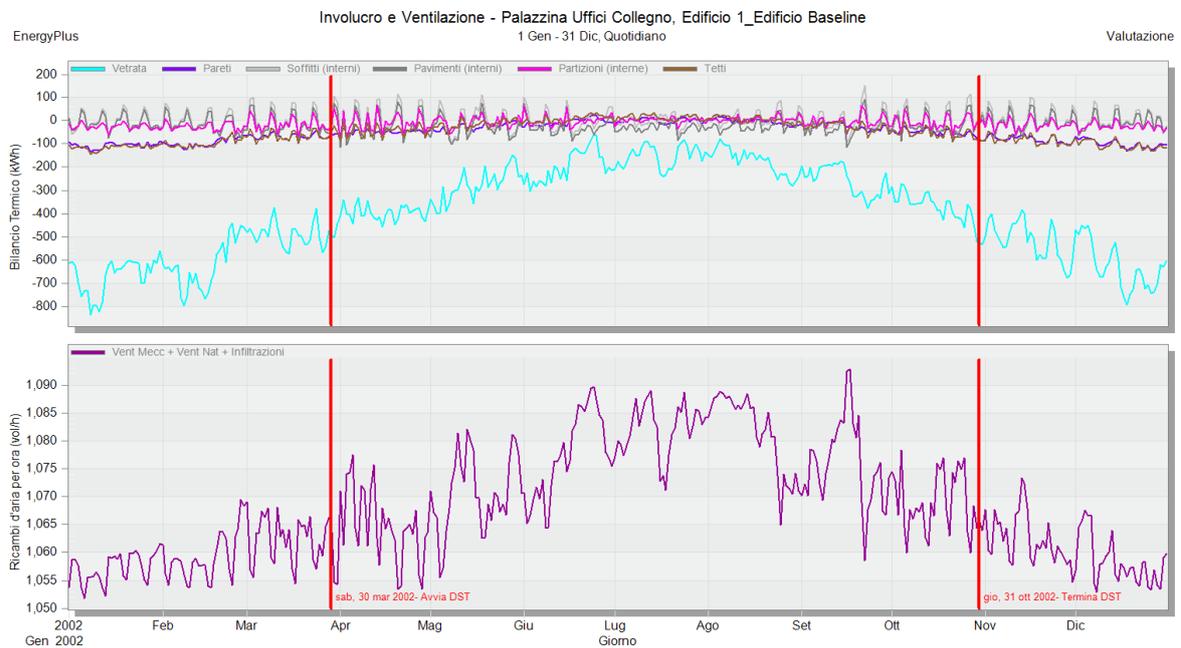


Figura 45 Andamento giornaliero dispersioni involucro e ricambi d'aria per ora del Baseline Building

Tutti questi fattori comportano un'energia consumata per il riscaldamento del Baseline Building quattro volte superiore rispetto a quella dell'edificio di progetto.

Il consumo dovuto alla produzione e distribuzione di acqua calda sanitaria è uguale nei due casi perchè l'impianto è stato realizzato in modo identico in entrambi gli edifici. Il consumo per raffrescamento è simile nei due edifici e incide relativamente poco sul consumo totale. In realtà l'edificio di riferimento ha una ridotta energia per raffrescamento compensata dall'elevata energia spesa per la ventilazione. Ciò è dovuto alla regolazione del sistema di raffrescamento delle UTA del Baseline Building, dove la temperatura di mandata dell'aria non è fissa ma è calcolata in base alla reale necessità per soddisfare il carico termico. Questo sistema, rispetto a quello del Proposed in cui la temperatura di mandata è fissa, permette una riduzione dell'energia di raffrescamento causando però un aumento dell'energia del ventilatore. Viene così spiegata l'altra grande differenza tra i consumi del Baseline e del Proposed Building dovuta all'energia spesa per il funzionamento dei ventilatori che è nettamente superiore per l'edificio di riferimento. I ventilatori, infatti, muovono una portata di aria ben superiore nel caso del Baseline Building perché tale flusso è necessario non solo alla ventilazione ma anche a coprire i carichi di riscaldamento e raffrescamento del sistema.

Nel Proposed Building è inoltre presente un consumo dovuto al funzionamento delle pompe del circuito dell'acqua calda e dell'acqua fredda, voce ovviamente assente nel sistema a tutt'aria del

Baseline Building. L'illuminazione interna causa consumi decisamente inferiori nel Proposed rispetto al Baseline Building: nell'edificio di progetto sono presenti sistemi a LED ad alta efficienza, mentre in quello di riferimento la norma ASHRAE 90.1 impone dei valori di potenza installata diversi per ogni destinazione d'uso, in media pari a circa 10 W/m². Infine, come richiesto dalla norma, i consumi dovuti alla presenza di apparecchi elettrici, come i computer, sono identici nei due edifici.

Viene di seguito riportato il grafico che mostra l'andamento dei consumi energetici del Baseline Building suddivisi in base all'uso finale. Il consumo per riscaldamento è decisamente superiore a quello del raffrescamento e ha dei picchi notevolmente elevati per i motivi sopra presentati. In particolare, i picchi più alti corrispondono alla maggiore dispersione dovuta alle vetrate poco efficienti installate nel Baseline Building.

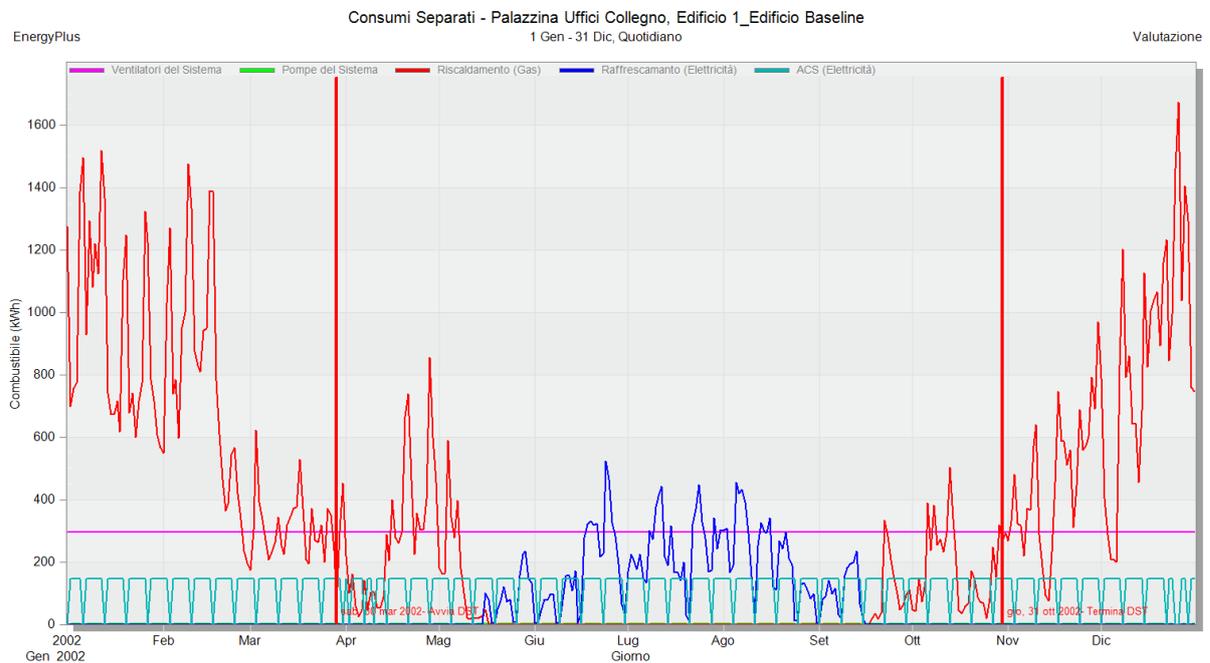


Figura 46 Andamento giornaliero consumi energetici separati per uso finale Baseline Building

In conclusione, si può dedurre che l'edificio di progetto risulta particolarmente efficiente dal punto di vista energetico in confronto all'edificio di riferimento secondo ASHRAE 90.1-2010, tanto da permettere l'acquisizione di 17 punti nel credito "Optimize Energy Performance".

6.2 Valutazione del credito “Renewable Energy Production”

La valutazione del credito legato alla produzione di energia da fonti rinnovabili viene effettuata grazie ai risultati ottenuti dalla simulazione dinamica dell'edificio di progetto. Sulla copertura dell'edificio sono presenti 86 pannelli fotovoltaici ciascuno di potenza installata pari a 250 W ed efficienza pari a 0,17. Effettuando la simulazione dell'edificio si ottiene che l'energia annua prodotta in situ dai pannelli solari è pari a 23.312,78 kWh.

Tabella 24 Sommario energia rinnovabile prodotta

L-1. Renewable Energy Source Summary

	Rated Capacity [kW]	Annual Energy Generated [kWh]
Photovoltaic	22.00	23312.78
Wind	0.00	0.00

Considerando le perdite di trasmissione e conversione, l'energia elettrica netta prodotta da fonti rinnovabili è pari a 22.105,98 kWh.

Per valutare il costo totale dell'energia consumata dall'edificio è necessario considerare i costi dell'elettricità e quelli del gas e moltiplicarli per i rispettivi consumi. Utilizzando i prezzi medi del mercato italiano compresi di imposte e tasse, pari a 0,25 €/kWh per l'elettricità e 0,90 €/Sm³ per il gas, è possibile calcolare il costo totale dell'energia richiesta dall'edificio. Il consumo annuale di elettricità, a seguito della simulazione effettuata su Design Builder, risulta pari a 203.546,24 kWh; quello di gas metano pari a 22.566,64 kWh, circa 2.250 Sm³.

$$\text{Total cost} = (\text{Consumo di gas} \times \text{costo gas}) + (\text{Consumo energia elettrica} \times \text{costo en. elettrica})$$

$$\text{Total cost} = 2.250 \times 0,90 + 203.546,24 \times 0,25 = 52.911,56 \text{ €}$$

Il costo totale annuo dell'energia richiesta dall'edificio risulta pari a 52.911,56 €, circa 4.400 € al mese. Il costo equivalente dell'energia prodotta dai pannelli solari è calcolato moltiplicando l'energia netta prodotta per il costo dell'energia elettrica:

$$\text{Equivalent cost} = 22.105,95 \text{ kWh} \times 0,25 \text{ €/kWh} = 5.526,49 \text{ €}$$

La percentuale di energia prodotta da fonti rinnovabili vale quindi:

$$\% \text{renewable energy} = \frac{\text{costo equivalente dell'energia netta prodotta da fonti rinnovabili}}{\text{Costo totale dell'energia richiesta dall'edificio}} \times 100$$

$$\% \text{renewable energy} = \frac{5.526,49}{52.911,56} \times 100 = 10,44 \%$$

La percentuale di energia prodotta da fonti rinnovabili è pari al 10,44%: superando il valore di soglia del 10% è possibile acquisire il punteggio massimo pari a 3 punti per il credito in analisi.

6.3 Valutazione del credito "Thermal Comfort"

La valutazione del credito legato al comfort termico degli occupanti viene effettuata attraverso una simulazione dinamica dell'edificio di progetto realizzato su Design Builder e sulla valutazione degli indici del modello di Fanger. I parametri da impostare nel modello devono fare riferimento alla norma UNI EN ISO 7730:2006, basata sul metodo di Fanger. I valori tipici della resistenza del vestiario per un occupante che svolge attività di ufficio sono pari a 0,5 clo (0,08 m²K/W) in estate e 1 clo (0,155 m²K/W) in inverno. L'attività metabolica per occupanti di uffici singoli è indicata pari a 70 W/m² (attività sedentaria). Tutti i valori vengono inseriti come input a livello di edificio nel modello realizzato con il software prima di procedere con la simulazione. La classe di comfort dell'edificio di nuova costruzione, secondo la norma UNI EN ISO 7730, corrisponde alla categoria B per cui i range di comfort sono così definiti: il PMV deve essere incluso tra -0,5 e +0,5, il PPD deve essere inferiore al 10%.

Per la valutazione dei due indici è necessario fare riferimento al periodo di tempo in cui vi è occupazione escludendo quindi le ore notturne e la domenica in cui l'edificio non è utilizzato. Nella simulazione non vengono ovviamente considerati i locali non climatizzati come vano scale e interrato.

Si procede effettuando una simulazione oraria di una settimana tipica estiva (17-23 agosto) e di una settimana tipica invernale (20-26 gennaio) che sono rappresentative delle due stagioni. Di seguito vengono riportati i grafici estratti dai risultati della simulazione oraria effettuata su Design Builder, che considera solo le zone climatizzate e occupate.

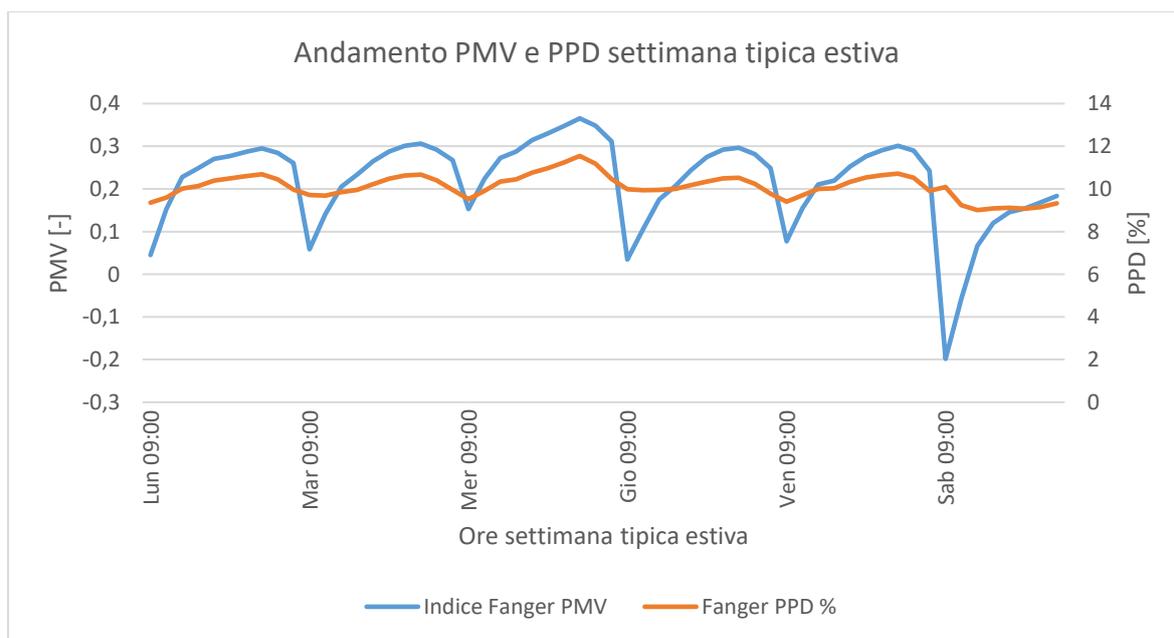


Figura 47 Andamento orario PMV e PPD settimana tipica estiva

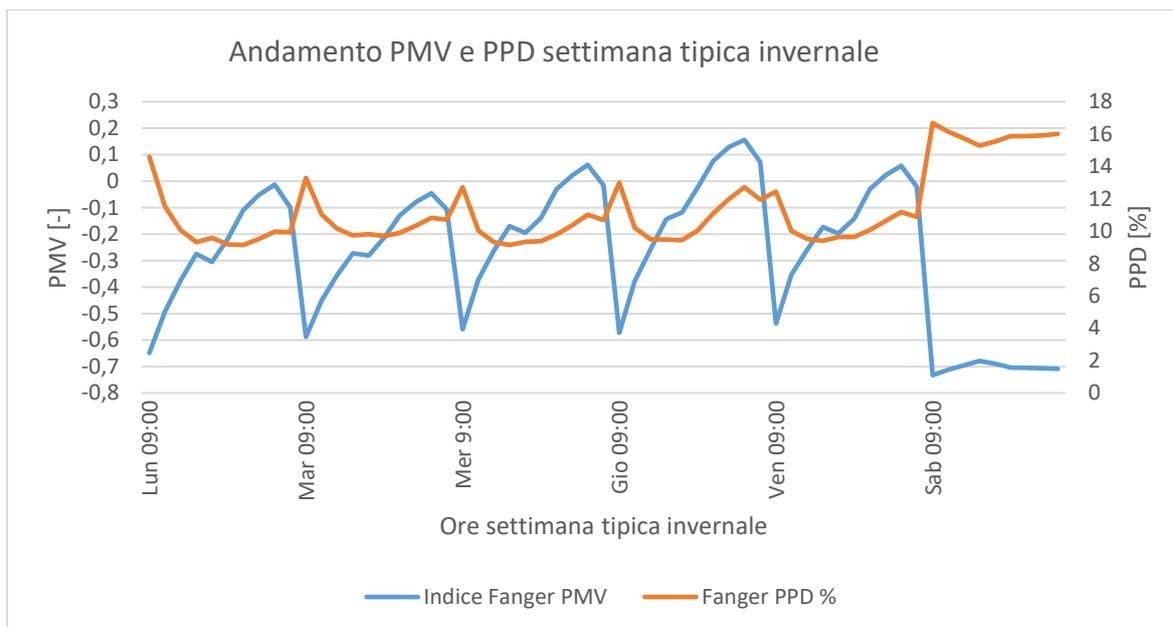


Figura 48 Andamento orario PMV e PPD settimana tipica invernale

Estrapolando i valori relativi esclusivamente al periodo occupato e calcolandone il valore medio si ottiene:

Tabella 25 Valori medi PMV e PPD settimana tipica estiva/invernale

Periodo di riferimento	PMV medio [-]	PPD medio [%]
Settimana tipica estiva	+ 0,22	10,11
Settimana tipica invernale	- 0,27	11,29

Durante il periodo estivo il grado di soddisfazione termoigrometrica è buono: la temperatura e la deumidificazione sono controllate dai ventilconvettori. Il PPD è lievemente superiore al valore limite del 10% richiesto dalla norma soprattutto nelle ore pomeridiane in cui vi è un elevato affollamento e la radiazione solare contribuisce ad aumentare la temperatura interna. Durante il periodo invernale il PPD medio è pari all'11,3%, ma nell'andamento orario si può notare come al mattino alle 9 il PPD sia estremamente elevato e il PMV estremamente basso; in particolare a quell'ora si toccano picchi di PPD del 13%. Al sabato, inoltre, quando l'occupazione è ridotta ma è comunque presente un discreto numero di persone il PPD arriva fino al 16%. Il grado di insoddisfazione durante il periodo invernale è rilevante soprattutto a causa dell'assenza di umidificazione: l'ambiente infatti risulta particolarmente secco, con picchi negativi di umidità relativa pari a 25%-30%, come si evidenzia nel grafico seguente, che corrispondono ai picchi del PMV e del PPD.

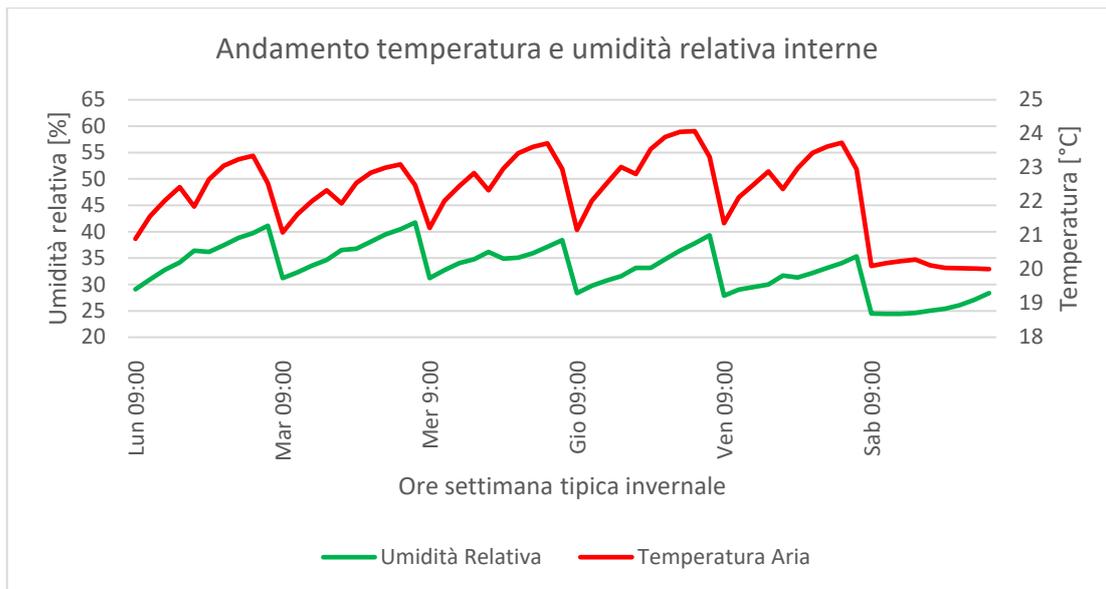


Figura 49 Andamento orario UR e temperatura interna settimana tipica invernale

Sarebbe utile, per migliorare il comfort degli occupanti, inserire una sezione di umidificazione dell'aria che spesso viene trascurata in sede di progetto perché comporta un aumento dei costi di gestione ma che è fondamentale per il benessere degli occupanti durante il periodo invernale, quando l'ambiente riscaldato risulta particolarmente secco. Viene di seguito ipotizzato l'inserimento dell'umidificatore nell'unità di trattamento aria per verificare il miglioramento delle condizioni di benessere degli occupanti. In tutte le UTA che vengono utilizzate per la ventilazione viene inserito un umidificatore elettrico a vapore a monte del ventilatore di mandata che utilizza l'elettricità per far evaporare dell'acqua che verrà quindi immessa nel flusso d'aria prelevato dall'esterno. L'umidificazione avviene dopo che l'aria prelevata dall'esterno è stata riscaldata dal recuperatore di calore.

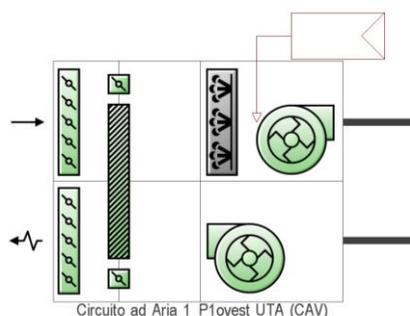


Figura 50 UTA con umidificatore

L'umidificatore, che può essere del tipo a elettrodi o a resistenza, richiede la presenza di un setpoint manager immediatamente a valle del componente che imposti un valore di umidità. Viene selezionata l'opzione "4-Media dell'umidità minima multizona" in modo che il setpoint manager controlli il livello minimo di umidità nelle zone servite da quell'UTA. Il funzionamento richiede

necessariamente la definizione di umidostati di zona che rilevino l'umidità relativa nelle diverse zone termiche. In questo modo il setpoint manager, noto il livello di umidità relativa presente nella zona, calcola un rapporto di umidità medio necessario a mantenere i livelli desiderati in ogni gruppo di zone. Nelle opzioni di ogni singolo gruppo di zone termiche viene quindi definito il valore di setpoint dell'umidità relativa pari al 50%.

L'inserimento di questo sistema comporterà sicuramente un notevole aumento dei consumi elettrici ma garantirà una maggiore stabilità dell'umidità relativa interna durante il periodo invernale e quindi un maggior comfort termoigrometrico. Nel grafico seguente è riproposto l'andamento orario del PMV e del PPD della settimana tipica invernale con la presenza dell'umidificatore, da osservare in parallelo con il grafico successivo riguardante l'andamento orario dell'umidità relativa.

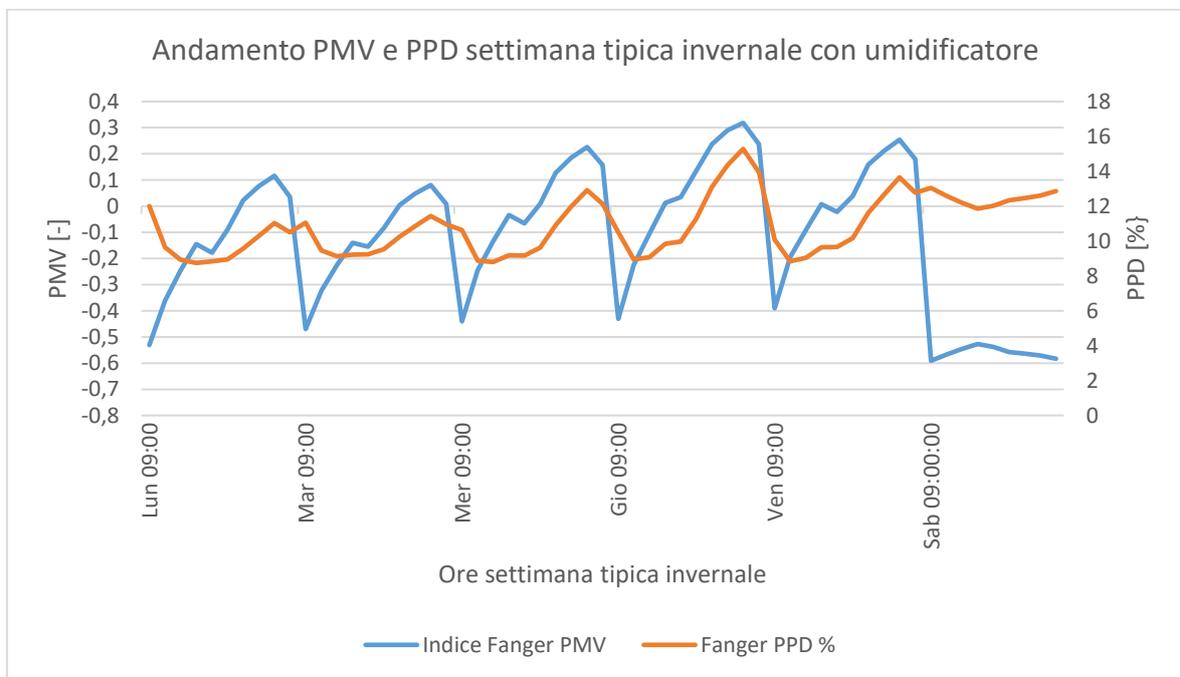


Figura 51 Andamento orario PMV e PPD settimana tipica invernale con umidificatore

A prima vista sembrerebbe che PMV e PPD siano identici al caso precedente. In realtà ciò che inganna è l'oscillazione che è uguale perché dipende dal profilo dell'occupazione e quindi dal maggior recupero di calore quando è presente un maggior affollamento.

Non avendo modificato la temperatura interna l'andamento del PMV è analogo al caso senza umidificatore. L'andamento del PPD invece, avendo inserito un controllo dell'umidità che comanda l'umidificatore nell'UTA, varia di molto: tutti i picchi di PPD risalenti alle 9 del mattino dovuti ad un'umidità relativa molto bassa sono stati smorzati e si è smorzato di molto anche il PPD del sabato, quando l'occupazione è ridotta e quindi il contributo latente degli occupanti è basso. Ciò che invece

è lievemente aumentato è il picco del pomeriggio, quando vi è un elevato contributo dei carichi interni che causano un innalzamento sia della temperatura che dell'umidità relativa. Se si osserva l'andamento della temperatura dell'aria e dell'umidità relativa interna si ritrova un profilo analogo a quello di PMV e PPD. Anche qui infatti si hanno dei picchi in prossimità delle ore 17:00, quando la temperatura interna arriva fino a 24°C e l'umidità relativa interna fino a 60%. Anche se tali valori non sono esattamente quelli impostati come setpoint, l'ambiente risulta nel complesso termicamente soddisfacente. L'umidità relativa ora non scende più sotto il 50% e ciò permette di garantire condizioni termoigrometriche migliori per gli occupanti.

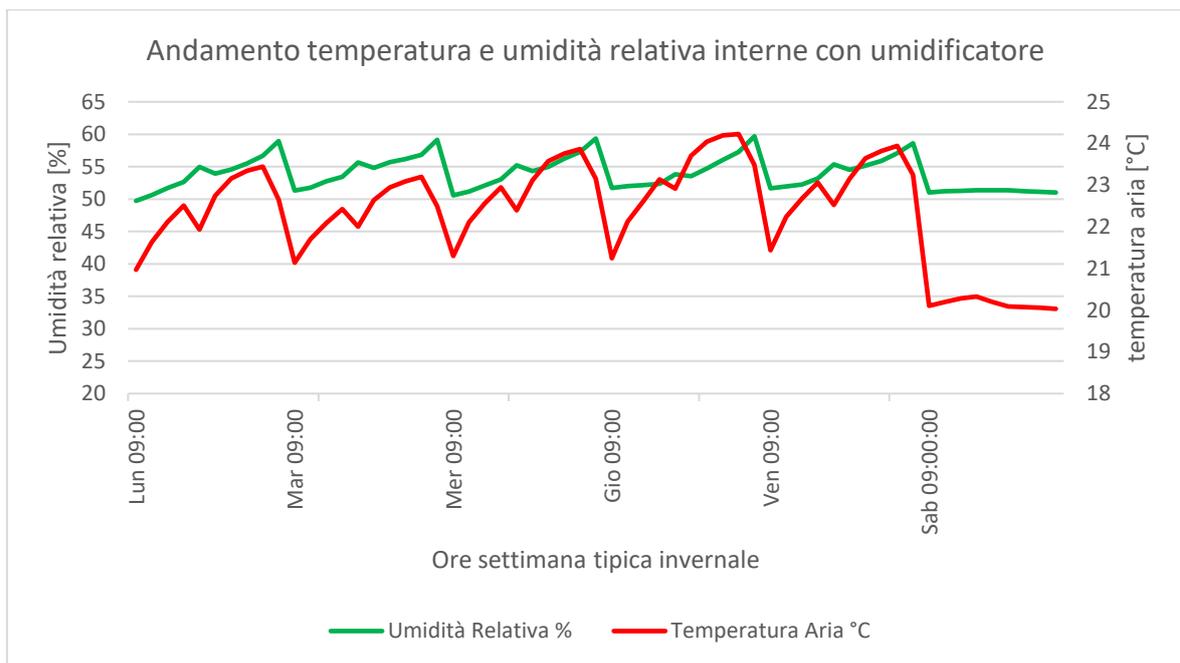


Figura 52 Andamento orario UR e temperatura interna settimana tipica invernale con umidificatore

A seguito dell'aggiunta dell'umidificatore il PMV medio risulta pari a -0,12 mentre il PPD medio pari a 10,85%. Nonostante il PPD sia sceso di mezzo punto percentuale, non si riesce comunque a soddisfare il requisito della norma che richiede un valore inferiore al 10%. Per ottenere un valore ottimale sarebbe necessario introdurre un controllo sul recuperatore di calore in modo tale da effettuare freecooling nel caso in cui la temperatura ambiente sia eccessivamente elevata. Questo probabilmente sarebbe sufficiente a garantire le condizioni di comfort richieste e non sarebbe difficile da implementare nella realtà: su Design Builder invece il freecooling si può impostare solo inserendo una sezione di ricircolo che non è però prevista nel nostro impianto.

Inoltre, si deve tener conto che i risultati qui proposti sono un andamento medio di tutto l'edificio, dove vengono inclusi quindi locali come le meeting rooms che durante l'occupazione hanno valori di umidità relativa molto elevati anche in inverno a causa dell'elevato affollamento e dove si tiene conto anche di locali molto poco affollati come l'infermeria.

Oltre al mantenimento di determinate condizioni di comfort, per ottenere il credito LEED è inoltre necessario individuare dei sistemi di controllo singoli per almeno il 50% degli spazi occupati individualmente e di sistemi di controllo di gruppo per tutti gli ambienti condivisi da più occupanti. Il sistema deve poter controllare una delle variabili che influenzano il comfort termico tra temperatura dell'aria, velocità dell'aria, umidità. Nel caso studio ogni ventilconvettore è dotato di un controllore che permette di regolare la temperatura ambiente: i ventilconvettori a parete di locali singoli hanno ciascuno un termostato ambiente elettronico, quelli disposti in locali condivisi fanno riferimento ad unico termostato regolabile. I ventilconvettori integrati nel controsoffitto hanno la possibilità di regolare la temperatura ambiente per mezzo di un telecomando.

Se dal punto di vista del controllo delle condizioni del comfort l'edificio di progetto sembra essere soddisfacente, dal punto di vista del comfort termico non lo è a sufficienza. Il maggiore responsabile è infatti l'aria eccessivamente secca nel periodo invernale che causa un elevato discomfort degli occupanti. Inserendo una sezione di umidificazione sarebbe possibile controllare l'umidità relativa e quindi assicurare migliori condizioni dell'ambiente interno, con un conseguente aumento del benessere degli occupanti e una maggiore produttività degli stessi. L'edificio di progetto non acquisisce quindi alcun punto nel credito "Thermal Comfort".

6.4 Valutazione del credito "Daylight"

Per valutare la qualità dell'illuminazione dovuta alla luce naturale si procede inizialmente scegliendo l'Opzione 1, che come descritto nel capitolo 3.2.2, consiste nell'effettuare una simulazione computerizzata annuale per verificare i parametri richiesti. La simulazione viene eseguita utilizzando lo stesso modello dell'edificio di progetto realizzato precedentemente su Design Builder, andando sul tab "Illuminazione Naturale". Il modulo "Daylighting" permette di calcolare i crediti per le certificazioni LEED, BREEAM, WELL e Green Star: tutti i calcoli sono basati su un'accurata fisica dei motori "Radiance" e "Daysim".

A causa delle limitazioni dovute alla versione gratuita del software, nella simulazione energetica dinamica era stato necessario unire alcuni locali per rispettare il limite massimo di 50 zone termiche. Nella simulazione annuale della luce diurna non è presente questo limite e si può quindi rispettare quanto richiesto dal protocollo LEED, ossia che siano rappresentati tutti i divisori interni non mobili.

Nel tab "Daylighting" è possibile scegliere di effettuare la simulazione "Annual daylighting" secondo quanto definito dalle linee guida LEED v4 Opzione 1. La valutazione deve essere effettuata considerando solo le superfici regolarmente occupate, quindi si escludono vano scale, bagni, aree break, corridoi. Nelle impostazioni della simulazione è possibile selezionare l'altezza del piano di lavoro, pari a 76 cm, e la dimensione della griglia (0,3x0,3m) rispettando le indicazioni fornite da LEED.

A causa del costo elevato in termini di tempo richiesto dalla simulazione dell'illuminazione naturale annuale, si è optato per un'accuratezza "Standard" che non assicura una elevata qualità dei risultati. Il costo in termini di tempo della simulazione è comunque elevato: per effettuare la simulazione dell'intero edificio è stato necessario un costo computazionale rilevante. Il risultato è una tabella in cui sono presenti i valori dei due parametri di interesse: lo Spatial Daylight Autonomy, $sDA_{300/50\%}$, ossia l'autonomia degli spazi in condizioni di luce naturale, e l'Annual Sunlight Exposure di 1000 lux per più di 250 ore/anno, $ASE_{1000,250}$. I due parametri sono complementari per la valutazione della qualità dell'illuminazione naturale. Il parametro Spatial Daylight Autonomy, infatti, definisce la porzione di spazio che riceve sufficiente luce naturale, in particolare descrive la percentuale di superficie che riceve almeno 300 lux per il 50% dell'anno durante il periodo di occupazione. Il parametro Annual Sun Exposure invece definisce la porzione di spazio che riceve troppa luce diretta del sole, che può causare un discomfort visivo o aumentare il carico termico per raffrescamento; in particolare $ASE_{1000,250}$ descrive la percentuale di superficie che riceve più di 1000 lux per almeno 250 ore di occupazione all'anno. I due fattori sono entrambi necessari: $sDA_{300/50\%}$ non pone limiti

sull'illuminamento, quindi uno spazio che riceve una quantità eccessiva di luce solare diretta può sembrare di buona qualità se valutato solo con questo indice. ASE permette invece di bilanciare il beneficio della luce solare con il possibile discomfort che ne può derivare. Lo scopo è di massimizzare sDA_{300/50%} tenendo sotto controllo il valore di ASE.

Vi sono diversi fattori che influenzano i due parametri, ad esempio la forma e l'orientamento dell'edificio, il numero di vetri sulle diverse facciate, la forma delle finestre, la tipologia di tendaggio. Nel caso oggetto di studio sono presenti delle tende a rullo opache disposte all'interno che vengono chiuse in funzione della temperatura esterna notturna bassa in inverno e alla presenza del raffrescamento estivo diurno. Il profilo di funzionamento è analogo a quello dell'occupazione: a seconda della tipologia di locale quindi le tende sono attive quando sono presenti gli occupanti.

Nel caso oggetto di studio i risultati della simulazione sono i seguenti:

Tabella 26 Riepilogo risultati Daylight Opzione 1

Riepilogo Risultati	
Area totale (mq)	1420,094
sDA area in range (mq)	869,428
ASE area in range (mq)	1104,5
sDA Status	2
ASE Status	FAIL
Overall points	0

Considerando quindi un'area regolarmente occupata di 1420 m² circa, ben 869 m² soddisfano il criterio richiesto per il parametro sDA. Ciò significa che il 61,2% della superficie regolarmente occupata riceve almeno 300 lux per il 50% dell'anno durante il periodo di occupazione. Il valore non è particolarmente elevato a causa di alcuni locali, come uffici e reception, che sono ciechi e non hanno fonti di illuminazione naturale. La percentuale è comunque superiore al limite del 55% richiesto dal protocollo LEED, quindi se anche il valore del parametro ASE rispettasse il limite richiesto sarebbe possibile ottenere 2 punti. Questo però non avviene: il parametro ASE risulta infatti rispettato per il 77,8% della superficie, di poco inferiore al valore limite indicato nella norma pari a 90%. Ciò significa che il 22,2% delle aree regolarmente occupate riceve almeno 1000 lux per più di 250 ore di occupazione all'anno, causando un discomfort visivo. Per ottenere i punti relativi al credito "Daylight" risulta quindi indispensabile che anche il valore del parametro ASE rientri nei limiti richiesti. Per ovviare al problema sarebbe necessario inserire un controllo delle tende in funzione dell'indice di abbagliamento: inserendo un sensore di luce in ogni locale è possibile controllare i tendaggi in funzione dell'abbagliamento simulando il comportamento degli occupanti. Design Builder però non include i tendaggi nelle simulazioni di luce diurna, per questo risulta impossibile dimostrare il soddisfacimento del credito con tale software. Sarebbe quindi necessario

simulare l'edificio con un software più accurato, che tenga conto di tutti i parametri che influiscono sulla penetrazione della luce diurna.

Si procede quindi a seguire l'Opzione 2 che richiede, sempre attraverso una simulazione computerizzata, che i livelli di luce diurna sul piano di lavoro siano tra i 300 e i 3000 lux alle 9 del mattino ed alle 3 del pomeriggio, in condizioni di cielo sereno, seguendo il metodo che verrà spiegato più avanti. La simulazione non deve considerare la presenza di schermature mobili o tendaggi. Utilizzando la stessa superficie occupata definita nella simulazione precedente, è necessario spostarsi sul tab "Illuminamento" e selezionare le opportune impostazioni. Selezionando il tipo di simulazione secondo LEED v4 viene richiesto di inserire alcuni parametri di input. La valutazione viene fatta con un'altezza del piano di lavoro di 0,76 m e viene escluso un margine di 50 cm dalle pareti, rimuovendo così una porzione di superficie che raramente è occupata ma che potrebbe influire negativamente per l'eccessiva esposizione alla radiazione solare. L'illuminamento medio su una superficie è una grandezza fisica pari al rapporto tra il flusso luminoso ricevuto da tale superficie e l'area della superficie stessa. Tale grandezza, quindi, fa riferimento all'oggetto illuminato e non alla sorgente. L'unità di misura dell'illuminamento è il lux che corrisponde all'illuminamento dovuto ad un flusso luminoso di 1 lumen distribuito in modo uniforme su una superficie di 1 m². L'illuminamento è una grandezza fondamentale nel campo della progettazione illuminotecnica perché è una grandezza oggettiva, che non dipende dalla posizione dell'osservatore.

Nella valutazione dell'illuminamento risulta molto importante la scelta delle condizioni del cielo: secondo quanto richiesto dalla guida di riferimento di LEED è necessario considerare sia la componente diffusa che quella diretta della luce solare, valutandole utilizzando un anno meteorologico di riferimento. Quindi si seleziona come metodo di cielo "2-Perez all weather" e come Perez method "2-Direct normal irradiance". A questo punto viene richiesto di inserire due valori, uno per la radiazione diretta e uno per quella orizzontale diffusa. LEED richiede che questi due valori derivino da una media calcolata selezionando i giorni più sereni (ossia con radiazione solare diretta più elevata) in due periodi dell'anno: il giorno più sereno nei 15 giorni precedenti il 21 settembre e il giorno più sereno nei 15 giorni precedenti il 21 marzo. Per individuare i due giorni è necessario andare nel tab "Simulazione" a livello di "Sito" e analizzare l'andamento della radiazione solare diretta nel periodo interessato.

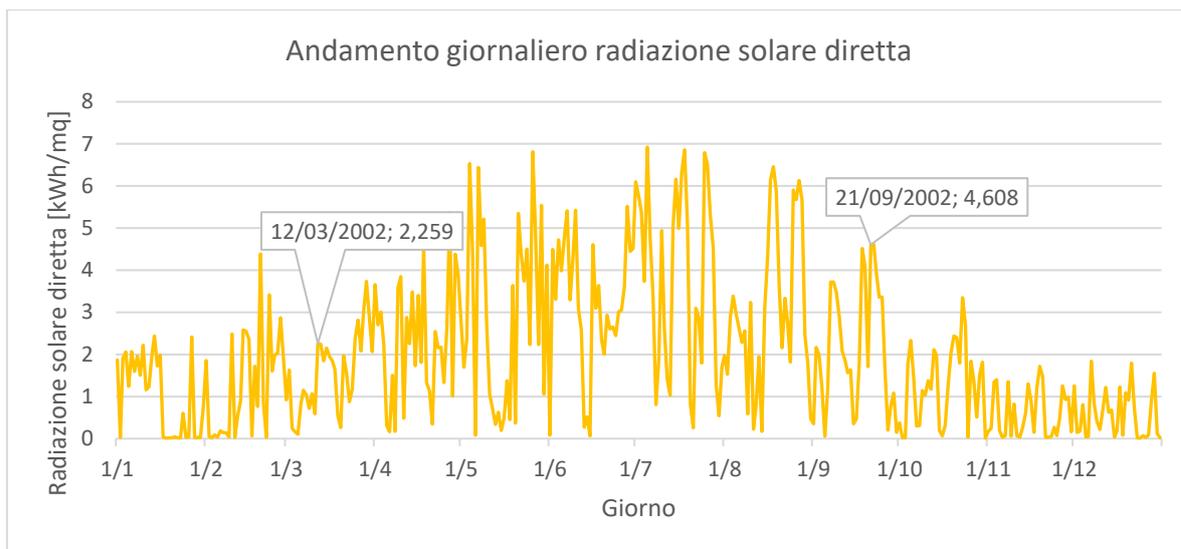


Figura 53 Andamento giornaliero della radiazione solare diretta

I giorni più sereni risultano il 21 settembre e il 12 marzo; per questi due è necessario considerare il valore della radiazione solare diretta e diffusa alle ore 9 di mattina e 3 di pomeriggio. Per ottenere tali valori è necessario effettuare una simulazione oraria e andare nuovamente a livello di "Sito". I valori ottenuti sono di seguito riportati.

Tabella 27 Radiazione solare diretta/diffusa nei giorni di massima radiazione solare diretta

	21 settembre		12 marzo	
	Radiazione solare diretta [W/m ²]	Radiazione solare diffusa [W/m ²]	Radiazione solare diretta [W/m ²]	Radiazione solare diffusa [W/m ²]
9 am	276	67	95	98
3 pm	528	109	288	205

Si calcola quindi un valore medio per la radiazione solare diretta e per quella diffusa che risultano rispettivamente pari a 296,75 W/m² e 119,75 W/m²; i valori ottenuti sono quelli richiesti nelle opzioni di calcolo per la simulazione.

Opzioni di calcolo	
Simulation type	4-LEED v4 Option 2
Template di dettaglio	2-Standard
Altezza piano di lavoro (m)	0,7600
Margine (m)	0,600
Ground plane extension (m)	30,0
Sky	
Sky method	2-Perez all weather
Perez method	2-Direct normal irradiance
Beam irradiance (W/mq)	296,8
Diffuse horizontal irradiance (W/mq)	119,8
Griglia	
Dimensione Griglia Min (m)	0,300
Dimensione Griglia Max (m)	0,300

Figura 54 Impostazioni di DB per simulazione illuminazione naturale Opzione 2 Daylight

Le dimensioni della griglia rispettano i valori richiesti da LEED. Le opzioni avanzate vengono lasciate come di default.

Il risultato che si ottiene a seguito della simulazione è negativo: solo il 64,2% della superficie regolarmente occupata risulta all'interno del range di illuminamento richiesto, pari a circa 912 m² su 1420 m². Di seguito vengono riportate le distribuzioni dell'illuminamento nei locali del primo piano al 21 settembre rispettivamente alle ore 9 e alle ore 15.

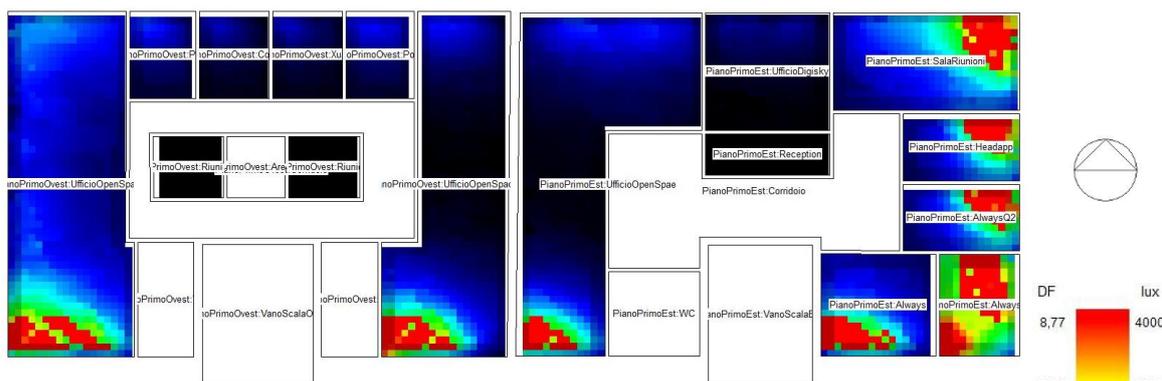


Figura 55 Distribuzione illuminamento piano primo h 9:00 del 21 settembre

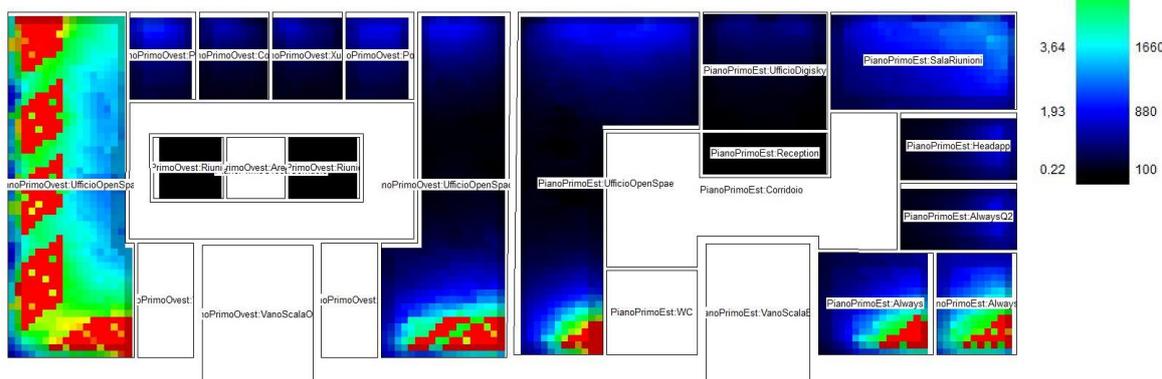


Figura 56 Distribuzione illuminamento piano primo h 15:00 del 21 settembre

L'andamento dell'illuminamento, che è simile per il piano primo (qua riportato) e il piano secondo, segue coerentemente l'andamento del sole: dai grafici è possibile notare come gli uffici esposti a est abbiano valori di illuminamento molto maggiori al mattino, quando il sole sorge; viceversa, questi hanno valori ridotti ma comunque accettabili quando il sole è a ovest. Ovviamente per gli uffici esposti a ovest si ha esattamente il comportamento opposto. Le zone rosse e arancioni corrispondono a quelle superfici all'altezza di 0,76 m che hanno un livello di illuminamento superiore a 3000 lux a quella specifica ora, quelle nere corrispondono invece a superfici con un illuminamento inferiore ai 300 lux. Si noti che la scala riporta, oltre ai valori in lux, i valori del Daylight Factor (DF), noto in italiano come fattore di luce diurna. Tale grandezza è pari al rapporto tra l'illuminamento che si ha in uno specifico punto sul piano di lavoro grazie alla luce naturale e

l'illuminamento, nelle medesime condizioni di tempo e spazio, su un piano orizzontale esterno esposto in modo tale da ricevere luce dall'intera volta celeste. Il fattore di luce diurna permette di fatto di valutare le condizioni di luce all'interno dell'ambiente in relazione alle condizioni di illuminazione presenti all'esterno. In questo caso viene riportato il valore di FLD medio, che tiene conto dell'illuminamento medio sulla superficie di lavoro dell'ambiente interno e quello medio esterno. Il fattore di luce diurna ha un valore compreso tra 0 e 1 ed è riconosciuto dalla normativa italiana in ambito di edilizia scolastica, residenziale ed ospedaliera.

La scala riporta quindi valori del fattore di luce diurna che vanno dallo 0,22 all'8,77%. Si consideri che tipicamente il valore minimo ritenuto accettabile è pari al 2%. Nell'analisi per la valutazione del credito LEED si richiede di osservare l'andamento dell'illuminamento, pertanto nelle considerazioni seguenti si farà riferimento esclusivamente a tale grandezza e non al fattore di luce diurna.

La sala riunioni in alto a destra, esposta a est, ad esempio, alle 9:00 presenta delle zone con illuminamento eccessivo, superiore ai 3000 lux, mentre alle 15:00 presenta dei valori bassi ma non inferiore al limite minimo richiesto. In media quindi tutta la superficie all'altezza del piano di lavoro di tale locale soddisfa i requisiti di illuminamento richiesti perché nell'effettuare la media, infatti, i valori di illuminamento del mattino e del pomeriggio si compensano.

Risulta chiaro come gli uffici esposti a nord ricevano molta meno luce, spesso inferiore al livello di illuminamento minimo richiesto. In questo caso sarebbe necessario pensare a delle tecnologie che permettano di massimizzare la luce naturale, come per esempio le "light shelves", elementi architettonici passivi che vengono utilizzati per riflettere la luce naturale all'interno dell'edificio. Oltre a permettere alla luce di penetrare più a fondo nell'edificio, evitano anche l'abbagliamento. Inoltre, le zone più arretrate come quelle degli uffici open space disposti al centro dell'edificio, hanno ampie zone buie che non ricevono sufficiente luce naturale. Le zone vicino alle finestre invece ricevono chiaramente una quantità di luce superiore e spesso eccessiva: per questo di solito si evita di predisporre postazioni di lavoro in prossimità delle finestre. Anche in questo caso, per evitare la penetrazione della luce diretta del sole che causerebbe abbagliamento e un discomfort termico, un'ottima soluzione sarebbe l'installazione delle "light shelves".

Del piano terra si riporta l'ufficio open space posto ad est e dotato di ampie portefinestre.

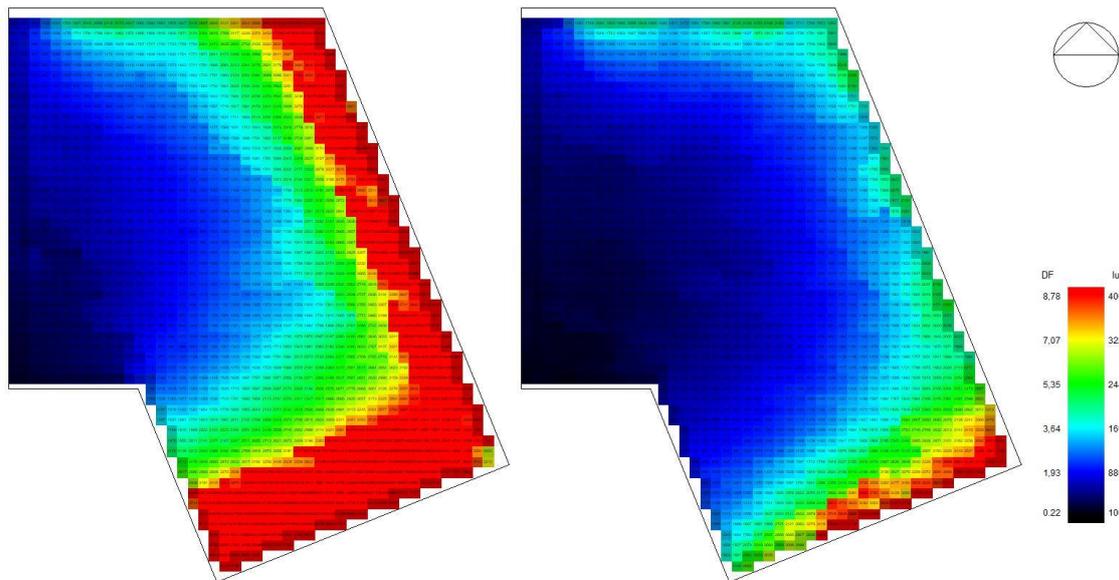


Figura 57 Distribuzione illuminamento ufficio open space PT h 9:00 e h 15:00 del 21 settembre

L'ufficio, che ha una superficie molto ampia, essendo esposto a est si ritrova in una condizione critica al mattino. Alle ore 9:00, infatti, tutta la fascia di superficie all'altezza del piano di lavoro adiacente alle pareti perimetrali e quindi alle ampie superfici vetrate ha dei livelli di illuminamento superiori ai 3000 lux. Tale fenomeno è chiaramente identificabile nella prima immagine dove si nota una discreta fascia rossa. Al pomeriggio invece l'illuminamento risulta di buona qualità su quasi tutta la superficie di lavoro, eccetto la zona più interna e lontana dalle finestre che ha dei valori molto bassi. In media, infatti, ben il 91,5% della superficie all'altezza del piano di lavoro ha un illuminamento che ricade all'interno del range richiesto da LEED.

In allegato è disponibile il report (Allegato D) dove per ogni locale viene riportata la percentuale di superficie all'altezza del piano di lavoro che soddisfa i requisiti di illuminamento richiesti. L'esito negativo della valutazione per l'ottenimento del credito LEED è dovuto oltre a quanto già evidenziato finora, alla presenza di alcuni locali, come reception e alcune sale riunioni, che sono completamente buie, non hanno alcun accesso verso l'esterno. Si potrebbe pensare che le due sale riunioni poste nella zona centrale del primo piano ovest siano appositamente buie per favorire la proiezione di diapositive, ma si tratta comunque di superfici minori.

Altro problema è l'ufficio del Responsabile dell'Ingegneria, situato al piano terra, orientato a sud e dotato di ben due ampie portefinestre, eccessive rispetto alla dimensione dell'ufficio stesso. Il locale ha infatti una superficie netta di 19,51 m² e ha aperture finestrate per una superficie pari a circa 22,1 m².

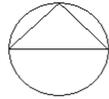
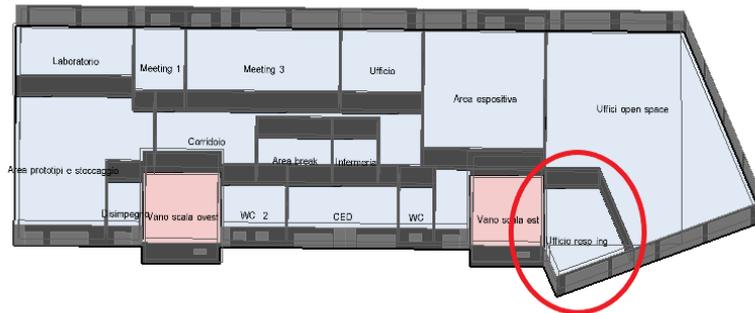


Figura 58 Identificazione dell'Ufficio Responsabile dell'Ingegneria al piano terra

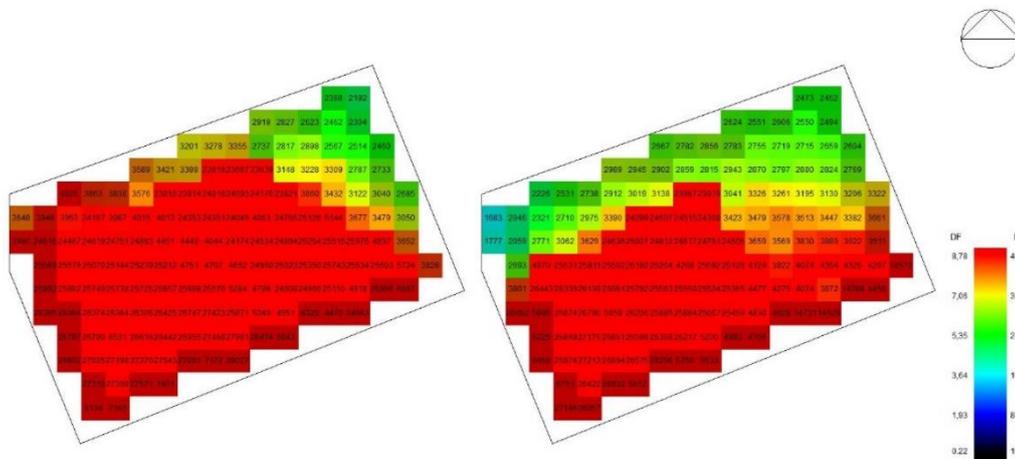


Figura 59 Distribuzione dell'illuminazione Ufficio Responsabile Ingegneria h 9 e h 15 del 21 settembre

Come si evince dalla rappresentazione grafica sopra riportata, la cui scala è analoga a quella precedente, quasi tutta la superficie all'altezza del piano di lavoro risulta fuori dal range. In media esattamente l'82,8% della superficie dell'ufficio Responsabile dell'Ingegneria supera i 3000 lux di illuminamento: dal grafico si nota infatti che sia alle 9 di mattina che alle 15 di pomeriggio la situazione risulta critica. Essendo esposto a sud, l'ufficio riceve una grandissima quantità di luce naturale durante tutto l'arco della giornata, con conseguenze disastrose per gli occupanti. Nella realtà sicuramente le tende, che in questa simulazione non vengono considerate, saranno sempre chiuse quando è presente la luce diurna per evitare un discomfort visivo, dovuto all'abbagliamento, e termico, dovuto al calore della radiazione solare. I tendaggi però non sarebbero probabilmente sufficienti a ridurre l'illuminamento fino ai valori di interesse, sarebbe necessario ripensare alla dimensione, forma e disposizione delle ampie portefinestre.

In conclusione, poiché solo il 64% delle superfici regolarmente occupate rientra nel range di illuminamento richiesto da LEED non è possibile soddisfare il requisito minimo del 75% che avrebbe permesso di ottenere 1 punto. Il credito Daylight non permette quindi l'acquisizione di alcun punteggio per l'edificio oggetto di studio: per ottenerlo sarebbe necessario ripensare alla disposizione degli spazi interni e alla posizione, alla dimensione e alle caratteristiche delle finestre. Inoltre, converrebbe considerare l'opzione di prediligere alcune tecnologie passive per ottimizzare l'apporto della luce naturale senza gravare sul bilancio termico dell'edificio.

7. Conclusioni

La valutazione della sostenibilità dell'edificio è stata effettuata secondo il protocollo LEED v4, concentrandosi in particolare sulla valutazione di alcuni crediti delle categorie "Energy and Atmosphere" e "Indoor Environmental Quality", per i quali si procede effettuando la simulazione dinamica dell'edificio di progetto. Tali categorie inglobano al loro interno molti dei goals definiti nell'Agenda 2030, l'agenda per lo sviluppo sostenibile sottoscritta nel 2015 dai governi dei 193 Paesi membri dell'ONU tra i quali è presente anche l'Italia. In particolare, le due categorie LEED danno grande importanza ai principi espressi nel goal 7 "Affordable and clean energy" e nel goal 3 "Good health and wellbeing".

Si procede quindi con la simulazione dinamica per la valutazione dei crediti LEED. Si realizza il modello dell'edificio su Design Builder disegnandone la geometria e caratterizzandolo dalle proprie strutture, dagli apporti interni e dal proprio impianto HVAC. Ad una prima simulazione si ipotizza di utilizzare la stagione di riscaldamento standard definita nell'articolo 9 del DPR 412/93 "Limiti di esercizio degli impianti termici" che per la zona climatica E va dal 15 ottobre al 15 aprile. Con lo scopo di migliorare il comfort ambientale interno si ipotizza di estendere di due mesi il periodo di riscaldamento standard definito dalla legge, rendendo funzionante l'impianto di riscaldamento dal 15 settembre al 15 maggio. In tal modo si ha un lieve aumento dei consumi a favore di un aumento del benessere degli occupanti, che tipicamente nei periodi di transizione primaverili e autunnali sono soggetti ad un maggiore discomfort perchè la temperatura interna è spesso bassa. Nel caso in analisi il riscaldamento è esteso per evitare tali situazioni e il raffrescamento è garantito dal 16 maggio al 14 settembre. Si effettua quindi la simulazione dell'edificio di progetto e si realizza il modello dell'edificio di riferimento secondo quanto indicato nello standard ASHRAE 90.1-2010 Appendice G. L'edificio di progetto, se confrontato con quello di riferimento, risulta notevolmente più performante dal punto di vista dei consumi. Il Proposed Building, infatti, ha un risparmio dei consumi energetici del 47,6% rispetto al Baseline Building. Ciò è dovuto sia alle scelte tecnologiche adottate per l'involucro, in particolare per quello trasparente che risulta molto efficiente rispetto a quello del Baseline Building, sia per le scelte impiantistiche e di controllo. L'edificio di riferimento, infatti, realizzato secondo quanto definito nello standard sopracitato, ha un involucro di qualità mediocre e un impianto con efficienze basse. L'edificio di progetto quindi, oltre ad aver ampiamente soddisfatto il prerequisito LEED "Minimum Energy Performance" che richiedeva un risparmio superiore al 5% dei consumi, risulta così performante rispetto a quello di riferimento da permettere l'acquisizione di ben 17 punti su 18 del credito LEED "Optimize Energy Performance". Inoltre, grazie all'energia elettrica prodotta dai pannelli fotovoltaici disposti sulla copertura il cui costo equivalente risulta superiore al 10% del costo totale dell'energia elettrica complessivamente

richiesta dall'edificio, è possibile ottenere il massimo dei punti pari a 3 del credito "Renewable Energy Production".

I crediti dedicati alla qualità dell'ambiente interno risultano invece insoddisfatti. L'assenza di un impianto di umidificazione causa un elevato discomfort degli occupanti durante il periodo invernale, in cui l'umidità relativa raggiunge valori bassissimi, fino al 25%, mentre il valore di progetto è pari al 50%. Inoltre, un miglior controllo del recuperatore, come per esempio l'introduzione del funzionamento in freecooling, permetterebbe di ottenere una maggiore stabilità della temperatura interna e di evitare un surriscaldamento nelle ore in cui vi è maggiore affollamento all'interno dell'edificio. L'assenza del sistema di umidificazione risulta comunque la causa principale dell'impossibilità di acquisire punti nel credito "Thermal Comfort".

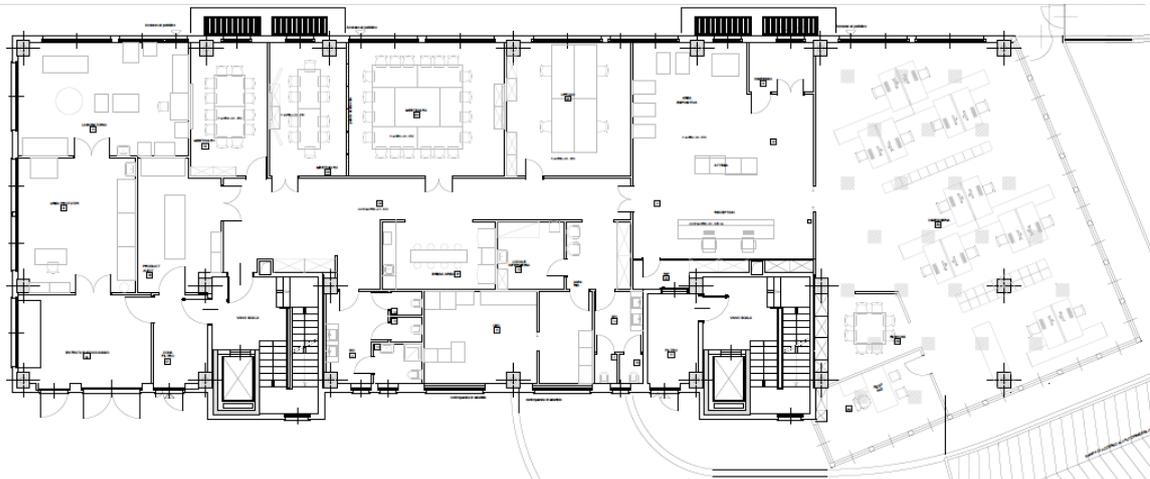
Anche l'illuminazione diurna degli spazi regolarmente occupati non rispetta i requisiti richiesti da LEED: l'illuminamento risulta infatti nel range 300 ÷ 3000 lux solo per il 64,2% della superficie del piano di lavoro, mentre la soglia minima per ottenere dei punti è pari al 75%. In conclusione, il credito Daylight non permette di acquisire nessun punteggio per la certificazione LEED dell'edificio oggetto di studio. Si consiglia di modificare la disposizione dei locali e delle finestre per permettere agli occupanti di godere di una maggior quantità di luce diurna di buona qualità e di optare per un'adeguata scelta del tipo e del controllo dei tendaggi e degli elementi oscuranti in modo tale da evitare l'abbagliamento.

In conclusione, la valutazione dei quattro crediti riferiti all'edificio oggetti di studio ha permesso di acquisire 20 punti sui 25 massimi ottenibili, una buona partenza per ottenere la certificazione LEED. La progettazione dell'edificio ha favorito nettamente il risparmio energetico e quindi economico a discapito della qualità dell'ambiente interno. Nell'ambito dell'edilizia sostenibile e della certificazione LEED, sarebbe stato più corretto promuovere una progettazione maggiormente integrata, che tenesse conto anche del benessere degli occupanti.

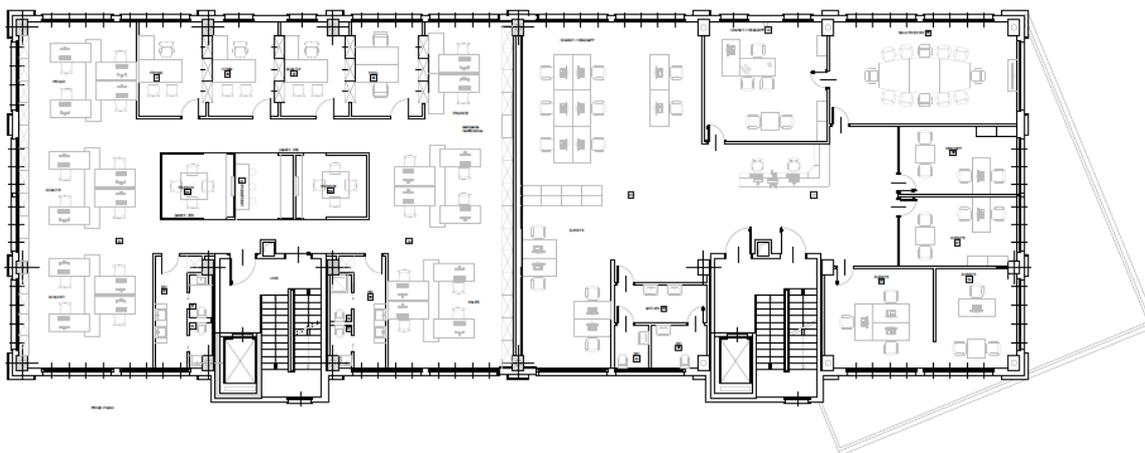
8. Allegati

Allegato A: piante piano terra, primo e secondo non in scala

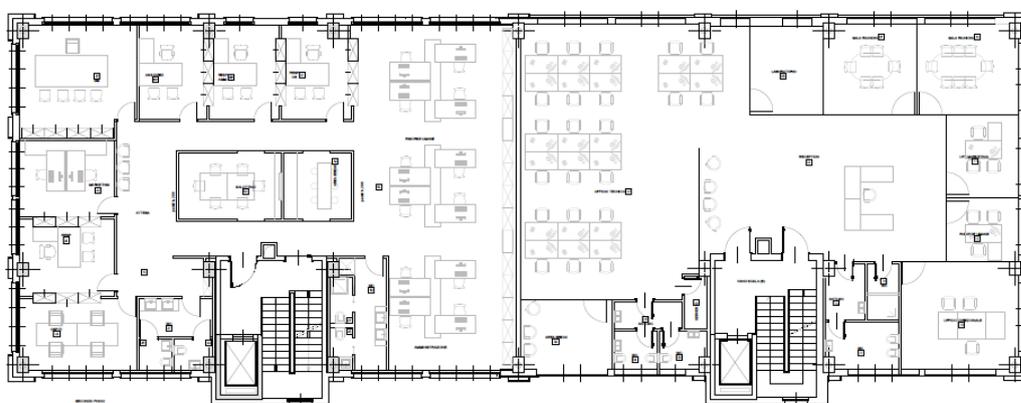
Piano terra



Piano primo



Piano secondo



Allegato C: Estratto del report simulazione dinamica

Report: **LEED Summary**

For: **Entire Facility**

Timestamp: **2020-11-01 19:38:45**

Sec1.1A-General Information

	Data
Weather File	PALAZZINA UFFICI COLLEGNO (O1-O1:31-12) ** Torino-Caselle - ITA IGDG WMO#=160590
Total gross floor area [m2]	3006.06
Principal Heating Source	Natural Gas

EAp2-1. Space Usage Type

	Space Area [m2]	Regularly Occupied Area [m2]	Unconditioned Area [m2]	Typical Hours/Week in Operation [hr/wk]
13529	40.05	40.05	0.00	54.01
13536	21.20	21.20	0.00	26.58
13545	63.01	63.01	0.00	26.58
13552	33.72	33.72	0.00	84.61
13559	82.69	82.69	0.00	54.01
13567	171.68	171.68	0.00	84.61
13578	84.15	84.15	0.00	54.01
13641	33.60	33.60	0.00	84.61
13666	34.50	34.50	0.00	84.61
13674	17.37	17.37	0.00	84.61
13682	10.63	10.63	0.00	84.61
13706	215.61	215.61	0.00	84.61
13730	40.16	40.16	0.00	84.61
13737	13.35	13.35	0.00	84.61
13767	9.32	9.32	0.00	26.58
13774	7.71	7.71	0.00	84.61
13781	9.42	9.42	0.00	26.58
13807	79.91	79.91	0.00	84.61
13816	159.83	159.83	0.00	84.61
13833	31.36	31.36	0.00	84.61
13841	40.53	40.53	0.00	26.58
13850	72.22	72.22	0.00	84.61
13859	152.67	152.67	0.00	84.61
13881	51.46	51.46	0.00	84.61
13890	23.34	23.34	0.00	84.61
13947	29.35	29.35	0.00	84.61
13955	179.35	179.35	0.00	84.61
13972	22.83	22.83	0.00	84.61

13979	14.28	14.28	0.00	84.61
13986	13.33	13.33	0.00	54.01
13993	17.33	17.33	0.00	26.58
14000	19.63	19.63	0.00	26.58
13591	79.20	79.20	0.00	0.00
13614	11.25	11.25	0.00	0.00
13633	19.96	19.96	0.00	0.00
13650	10.79	10.79	0.00	0.00
13744	14.62	14.62	0.00	0.00
13760	14.62	14.62	0.00	0.00
13789	17.58	17.58	0.00	0.00
13897	10.50	10.50	0.00	0.00
13914	14.62	14.62	0.00	0.00
13922	14.95	14.95	0.00	0.00
13940	18.16	18.16	0.00	0.00
13621	34.73	0.00	34.73	0.00
13657	32.87	0.00	32.87	0.00
13690	781.40	0.00	781.40	0.00
13751	34.73	0.00	34.73	0.00
13796	32.87	0.00	32.87	0.00
13904	34.73	0.00	34.73	0.00
13929	32.87	0.00	32.87	0.00
Totals	3006.06	2021.86	984.20	

EAp2-2. Advisory Messages

	Data
Number of hours heating loads not met	90.17
Number of hours cooling loads not met	73.50
Number of hours not met	163.67

EAp2-4/5. Performance Rating Method Compliance

	Electric Energy Use [kWh]	Electric Demand [W]	Natural Gas Energy Use [kWh]	Natural Gas Demand [W]	Additional Fuel Use [kWh]	Additional Fuel Demand [W]
Heating -- Boiler	0.00	0.00	22566.66	17256.60	0.00	0.00
Heating -- Boiler Parasitic	98.54	75.08	0.00	0.00	0.00	0.00
Heating -- Other	1902.66	2188.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cooling -- General	18340.10	21872.84	0.00	0.00	0.00	0.00
Cooling -- Other	6937.08	3973.70	0.00	0.00	0.00	0.00
Interior Lighting -- General	16788.79	6624.37	0.00	0.00	0.00	0.00
Exterior Lighting -- Not Subdivided	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Interior Equipment -- General	79166.82	29821.49	0.00	0.00	0.00	0.00
Interior Equipment -- Elevators and escalators	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Exterior Equipment -- Not Subdivided	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fans -- General	28751.54	4444.67	0.00	0.00	0.00	0.00
Pumps -- Not Subdivided	2882.78	1590.91	0.00	0.00	0.00	0.00
Heat Rejection -- Not Subdivided	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Humidification -- Not Subdivided	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Heat Recovery -- Not Subdivided	3618.84	955.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Water Systems -- Water Heater	45059.25	11783.44	0.00	0.00	0.00	0.00
Water Systems -- General	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Refrigeration -- Not Subdivided	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Generators -- DCtoACInverter Ancillary	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

EAp2-6. Energy Use Summary

	Process Subtotal [kWh]	Total Energy Use [kWh]
Electricity	79166.82	203546.40
Natural Gas	0.00	22566.66
Total	79166.82	226113.06
Additional	0.00	0.00

L-1. Renewable Energy Source Summary

	Rated Capacity [kW]	Annual Energy Generated [kWh]
Photovoltaic	22.00	23312.78
Wind	0.00	0.00

EAp2-17a. Energy Use Intensity - Electricity

	Electricity [kWh/m2]
Interior Lighting (All)	5.58
Space Heating	0.67
Space Cooling	8.41
Fans (All)	9.56
Service Water Heating	14.99
Receptacle Equipment	26.34
Miscellaneous (All)	67.71
Subtotal	67.71

EAp2-17b. Energy Use Intensity - Natural Gas

	Natural Gas [kWh/m2]
Space Heating	7.51
Service Water Heating	0.00
Miscellaneous (All)	7.51
Subtotal	7.51

EAp2-18. End Use Percentage

	Percent [%]
Interior Lighting (All)	7.42
Space Heating	10.87
Space Cooling	11.18
Fans (All)	12.72
Service Water Heating	19.93
Receptacle Equipment	35.01
Miscellaneous	2.88

Schedules-Equivalent Full Load Hours (Schedule Type=Fraction)

	Equivalent Full Load Hours of Operation Per Year [hr]	Hours > 1% [hr]
10001	2657.	4487.
10003	1342.	1404.
10004	6258.	8760.
10005	2506.	2871.
10006	2062.	2871.
10007	3756.	3756.
10014	4368.	4368.
10017	2622.	3672.

Schedules-SetPoints (Schedule Type=Temperature)

	First Object Used	Month Assumed	11am First Wednesday [C]	Days with Same 11am Value	11pm First Wednesday [C]	Days with Same 11pm Value
10015	13567 DUAL SP	January	20.00	242	20.00	242
10016	13567 DUAL SP	July	26.00	123	26.00	123
46	13641 DUAL SP	January	20.00	365	20.00	365
10010	13641 DUAL SP	July	26.00	365	26.00	365

Allegato D: Report simulazione illuminazione naturale

Daylighting Credit - LEED v4 Option 2

The credit is based on demonstrating through computer modeling that illuminance levels will be between 300 lux and 3,000 lux for 9 a.m. and 3 p.m., both on a clear-sky day at the equinox. If 90% of floor area meets the requirement then 2 credits are awarded, otherwise if 75% of floor area meets the requirements then 1 credit is awarded. Calculations are based on regularly occupied floor area.

I risultati riportati di seguito sono stati calcolati utilizzando il motore di simulazione Radiance che fornisce calcoli multi-zona dettagliati basati sulla fisica dei livelli di illuminazione sui piani di lavoro dell'edificio.

Dati sull'illuminazione naturale

File di progetto	D:\Users\Marta\Desktop\Tesi magistrale\Caso studio\DesignBuilder\Daylight\Daylight simulation defi illuminamenti.dsb
Data e ora di generazione del rapporto	01/11/2020 18:15:59
Modello di cielo	2-Perez all weather, 3-Direct horizontal irradiance
Tempo 1	9:00, 21 Mar/Set
Tempo 2	15:00, 21 Mar/Set
Località	TORINO/CASELLE
Altezza del piano (m)	0,760
Dimensione Griglia Max (m)	0,300
Dimensione Griglia Min (m)	0,300
Soglia di illuminamento inferiore (lux)	300,000
Illuminamento superiore alla soglia (lux)	3000,000

Riepilogo dei risultati, i valori medi per le 9:00 e le 15:00

Area totale (mq)	1420,1
Area totale al di sopra della soglia (mq)	912,4
% di Superficie all'interno dei limiti di illuminamento	64,2
LEED v4 Option 2 Credits	FALLITO

Zone ammissibili per illuminazione naturale, valori medi per le 9:00 e le 15:00

Blocco	Zona	Superficie a pavimento (mq)	Illuminazione minima (lux)	Area del piano di lavoro all'interno dei limiti (%)
Piano terra	Laboratorio	40,1	612,61	100,0
Piano terra	Meeting 1	21,2	30,37	14,3
Piano terra	Meeting 2 e 3	63,0	178,74	86,9
Piano terra	Ufficio	33,7	255,76	82,9
Piano terra	Area espositiva 1	76,1	17,33	17,1
Piano terra	Uffici open space	171,7	174,21	91,5
Piano terra	Product Audit	21,5	0,00	0,0

Piano terra	Riunioni	15,0	0,00	0,0
Piano terra	Infermeria	10,6	0,00	0,0
Piano terra	Ufficio resp ing	19,5	2321,94	17,2
Piano terra	Area prototipi	33,8	383,50	100,0
Piano primo ovest	Ufficio Open space	89,9	403,02	97,6
Piano primo ovest	Progr	12,9	313,53	100,0
Piano primo ovest	Comm	13,6	194,82	50,8
Piano primo ovest	Qualità	13,6	196,51	55,6
Piano primo ovest	Pool30	13,4	296,31	98,1
Piano primo ovest	Ufficio Open space1	74,1	90,70	52,1
Piano primo ovest	Riunioni 32a	9,3	0,00	0,0
Piano primo ovest	Riunioni 32b	9,4	0,00	0,0
Piano primo est	Always	26,2	389,34	99,3
Piano primo est	Always	19,3	752,62	98,9
Piano primo est	Always	17,2	200,14	59,0
Piano primo est	Ufficio open space	87,3	95,19	60,4
Piano primo est	Headapp	17,2	179,23	60,3
Piano primo est	Ufficio digisky	31,4	92,14	37,8
Piano primo est	Sala riunioni	40,5	386,03	100,0
Piano primo est	Reception	11,2	0,00	0,0
Piano secondo ovest	Resp. amm	14,8	88,29	21,4
Piano secondo ovest	Ufficio open space 1	108,6	31,41	39,8
Piano secondo ovest	GM	28,8	343,70	100,0
Piano secondo ovest	Marketing	15,8	146,30	48,6
Piano secondo ovest	Resp	15,8	157,19	47,1
Piano secondo ovest	Ospiti	19,9	789,44	77,6
Piano secondo ovest	Resp HR	14,8	97,13	30,0
Piano secondo ovest	Ass. direz	13,8	143,59	53,3
Piano secondo est	Ufficio direz	29,3	513,60	93,5
Piano secondo est	Risorse umane	10,1	451,86	100,0
Piano secondo est	Ufficio marketing 1	12,7	416,24	100,0
Piano secondo est	Ufficio open space	86,5	6,22	40,1
Piano secondo est	Laboratorio	13,3	122,62	39,7
Piano secondo est	Sala riunioni 9	17,3	225,87	83,3
Piano secondo est	Sala riunioni 10	19,6	565,60	100,0
Piano secondo est	Reception 1	6,2	0,00	0,0
Totale		1420,1	0,00	64,2

9. Bibliografia e sitografia

BIBLIOGRAFIA

ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.1 – 2010, *Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings (I-P Edition)*, ASHRAE, 2010.

ASviS, *L'Italia e gli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile: Rapporto ASviS 2019*, ASviS, 2019.

DesignBuilder, *LEED and ASHRAE 90.1 2007 and 2010 App G PRM – User Guide: DesignBuilder v6.1*, DesignBuilder, March 2019.

DesignBuilder, *DesignBuilder 2.1: User's Manual*, DesignBuilder Software, 2009.

GBC Italia, *I numeri di LEED in Italia: un fenomeno sempre più in crescita*, 07/07/2016, www.gbccitalia.org (ultimo accesso 10/09/2020).

GBC Italia, *Il green building italiano si distingue per eccellenza*, 11/12/2017, www.gbccitalia.org (ultimo accesso 10/09/2020).

Green Building Education Services, *LEED Green Associate exam preparation study guide: LEED v4 Edition*, GBES, s.d.

Marinosci C., Semprini G., *Software di simulazione energetica dinamica degli edifici*, ingenio, 27/09/2013, www.ingenio-web.it (ultimo accesso 28/08/2020).

Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, Ministero dello Sviluppo Economico, *Piano nazionale integrato per l'energia e il clima*, dicembre 2019.

Ministero dello Sviluppo Economico: Direzione Generale per le Infrastrutture e la Sicurezza dei Sistemi Energetici e Geominerari, *La situazione energetica nazionale nel 2019*, MISE-DGISSEG, giugno 2020.

OECD, *Measuring Distance to the SDG Targets 2019: An Assessment of Where OECD Countries Stand*, OECD Publishing, Paris, 2019, <http://doi.org/10.1787/a8caf3fa-en>.

Pacific Northwest National Laboratory, *ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.1 – 2010 Performance Rating Method Reference Manual*, U.S. Department of Energy, May 2016.

S.P.E. Divisione Clima, *Elaborati grafici e descrittivi progetto meccanico*, 2017.

UNI EN ISO 7730:2006, *Ergonomia degli ambienti termici – Determinazione analitica e interpretazione del benessere termico mediante il calcolo degli indici PMV e PPD e dei criteri di benessere termico locale*.

U.S. Green Building Council, *LEED v4 for BUILDING DESIGN AND CONSTRUCTION: Traduzione Italiana*, USGBC, Aggiornato 08 Novembre 2016, Traduzione di GBC Italia.

U.S. Green Building Council, *Reference Guide for Building Design and Construction v4*, USGBC, 01 Ottobre 2014.

SITOGRAFIA

- [1] www.agenziacasaclima.it
- [2] <https://www.aics.gov.it/home-ita/settori/obiettivi-di-sviluppo-sostenibile-sdgs/>
- [3] www.ashrae.org
- [4] www.asvis.it
- [5] www.breeam.com
- [6] www.climate-data.org/europa/italia/piemonte/collegno-13519
- [7] www.designbuilderitalia.it
- [8] www.gbcitalia.org
- [9] www.grattacielointesasanpaolo.com
- [10] www.infobuildenergia.it
- [11] www.itaca.org/valutazione_sostenibilita.asp
- [12] www.lavazza.it
- [13] www.medium.com/@iegandwellbeing/
- [14] <http://relazione.ambiente.piemonte.it/2019/it/territorio/risposte/ambiente-costruito>
- [15] www.savethechildren.it
- [16] www.unmethours.com/questions/
- [17] www.usgbc.org
- [18] <https://www.worldgbc.org/news-media/green-building-improving-lives-billions-helping-achieve-un-sustainable-development-goals>