

POLITECNICO DI TORINO

**Corso di Laurea Magistrale
in Ingegneria Energetica e Nucleare**

Tesi di Laurea Magistrale

**Verso lo Smart Building.
Processo e valutazioni tecnico/economiche
per l'intervento sul patrimonio esistente:
il caso studio di Cesano Boscone**



Relatore

prof. Marco Carlo Masoero

Candidato

Valentina Giaconia

Correlatrice

Ing. Laura Rietto

A.A. 2017/2018

Ringraziamenti

Ringrazio Barbara e Tommaso per il grande aiuto e la pazienza con cui mi hanno seguita durante tutto questo percorso.

Ringrazio Laura per l'aiuto, la disponibilità e la sua immensa gentilezza.

Ringrazio il Professore Masoero per la disponibilità e cortesia avute nei miei confronti, e per l'opportunità fornitami nello svolgere tale lavoro di tesi.

Ringrazio mia sorella, Elena, per il suo fondamentale aiuto sin dall'inizio, e senza la quale non so come avrei fatto.

Ringrazio Sofia, per avermi sempre ascoltata, e per essere sempre presente in ogni istante della mia vita, soprattutto durante questo lungo e difficile periodo.

Ringrazio Federica, Martina e Matteo, per avermi supportata, ma soprattutto supportata durante questo lungo percorso.

Ringrazio Fausto, la cui presenza è indispensabile, e il cui aiuto è essenziale.

Ringrazio mia Madre e mio Padre per tutti i sacrifici fatti per me, per la loro costante presenza, e per avermi insegnato ad essere come sono. Vi devo tutto. Grazie.

Valentina

Sommario

| | |
|---|-----------|
| <i>Indice delle figure</i> | 4 |
| <i>Indice delle tabelle</i> | 7 |
| 1. Introduzione | 8 |
| 2. Smart City | 10 |
| 2.1 Tecnologie e soluzioni per una smart city | 12 |
| 3. Smart Building | 19 |
| 3.1 Tecnologie e soluzioni per uno smart building | 21 |
| 3.1.1 Spazi Interni privati dell'edificio | 22 |
| 3.1.1.1 Risparmio energetico e produzione di energia termica/elettrica | 22 |
| 3.1.1.2 Raccolta dati tramite dispositivi wireless/bluetooth | 23 |
| 3.1.2 Spazi Interni collettivi all'edificio | 23 |
| 3.1.2.1 Risparmio energetico e produzione di energia termica/elettrica | 23 |
| 3.1.3 Spazi Esterni all'edificio | 25 |
| 4. Legislazione in Campo Energetico | 26 |
| 4.1 Legislazione Europea | 26 |
| 4.2 Legislazione Italiana in Campo Energetico | 27 |
| 5. Caso Studio | 30 |
| 5.1 Ipotesi di Modellazione e Progetto Tabula | 33 |
| 6. Design Builder | 40 |
| 6.1 La geometria | 41 |
| 6.2 Gestione dell'edificio | 43 |
| 6.3 Superfici Opache | 44 |
| 6.4 Aperture | 45 |
| 6.5 Illuminazione | 45 |
| 6.6 HVAC | 45 |
| 6.7 Simulazioni | 46 |
| 7. Impostazioni del Modello e Successivi Risultati delle Simulazioni | 48 |

| | | |
|-------|--|--|
| 7.1 | Impostazioni del Modello su Design Builder | 48 |
| 7.2 | Risultati delle Simulazioni | 59 |
| 8. | <i>Efficientamento, Risultati ottenuti e Analisi Economica</i> | 70 |
| 8.1 | Efficientamento del Modello | 70 |
| 8.1.1 | Infissi in PVC con vetri camera e Argon | 72 |
| 8.1.2 | Isolamento a Cappotto | 73 |
| 8.1.3 | Caldaia a gas per ACS e Luci Led | 75 |
| 8.2 | Impostazioni del Modello su Design Builder | 77 |
| 8.3 | Risultati delle Simulazioni | 83 |
| 8.4 | Analisi Economica | 91 |
| 9. | <i>Smartizzazione, Risultati ottenuti e Analisi Economica</i> | 99 |
| 9.1 | Smartizzazione del Modello | 99 |
| 9.1.1 | Impianto Fotovoltaico | 99 |
| 9.1.2 | Tetto Verde | 101 |
| 9.1.3 | Elettrodomestici e termovalvole controllati da remoto | 102 |
| 9.1.4 | Luci temporizzate e dimmerabili e veneziane smart | 102 |
| 9.1.5 | Risultati delle Simulazioni | 103 |
| 9.2 | Analisi Economica | 112 |
| 10. | <i>Conclusioni</i> | Errore. Il segnalibro non è definito. |
| | <i>Bibliografia e Sitografia</i> | 120 |
| | ALLEGATI | 123 |

Indice delle figure

| | |
|--|----|
| Figura 1:Caratteristiche di uno smart building (10) | 20 |
| Figura 2: prospetto est del Palazzo-Modello | 30 |
| Figura 3: prospetti ovest e sud del Palazzo-Modello | 31 |
| Figura 4:Prospetto sud-est del Palazzo-Modello | 32 |
| Figura 5:matrice differenti edifici-tipo (28) | 35 |
| Figura 6:immagine esplicativa dell'edificio-modello scelto (28) | 36 |
| Figura 7: pianta dell'edificio | 42 |
| Figura 8: interfaccia grafica di SketchUp | 42 |
| Figura 9: Render del Palazzo | 43 |
| Figura 10: schermata caratterizzazione attività e schedules | 44 |
| Figura 11:schermata località e sue caratteristiche | 48 |
| Figura 12: schermata principali impostazioni | 51 |
| Figura 13: caratteristiche infissi a vetro singolo | 52 |
| Figura 14: schema pavimentazioni e sua caratteristiche | 53 |
| Figura 15: Diagramma di Glaser | 54 |
| Figura 16: schema pareti esterne e sue caratteristiche | 55 |
| Figura 17: Diagramma di Galser per pareti esterne | 56 |
| Figura 18: schema coperture e sue caratteristiche | 57 |
| Figura 19: Diagramma di Glaser per le coperture | 58 |
| Figura 20: andamenti temperatura bulbo secco e temperatura di rugiada, per 13, 14, 15 gennaio [°C] | 59 |
| Figura 21: velocità del vento per 13, 14, 15 gennaio [m/s] | 59 |
| Figura 22: radiazione solare diretta e diffusa per 13, 14, 15 gennaio [kW/m ²] | 59 |
| Figura 23: andamento temperature [°C], umidità relativa [%], indice di Fanger per 13, 14 e 15 gennaio | 60 |
| Figura 24: apporti energetici divisi per tipologia di "combustibile" per 13, 14, 15 gennaio [kW] | 61 |
| Figura 25: apporti energetici in kWh, mese gennaio | 62 |
| Figura 26: guadagni energetici interni per 13, 14 e 15 gennaio [kW] | 63 |
| Figura 27: guadagni energetici interni in kWh, mese di gennaio | 63 |
| Figura 28: confronto temperatura interna [°C], dispersione attraverso l'involucro e fabbisogno di calore [kW] per il 13, 14 e 15 gennaio | 64 |
| Figura 29: consumi per la durata di tutta la stagione di riscaldamento [kW] | 65 |
| Figura 30: andamento temperature [°C], umidità relativa [%], indice di Fanger per il 13, 14 e 15 luglio | 65 |
| Figura 31: apporti energetici divisi per tipologia di "combustibile" per 13, 14, 15 luglio [kW] | 66 |
| Figura 32: apporti energetici in kWh, mese di luglio | 67 |
| Figura 33: guadagni energetici interni per 13, 14 e 15 luglio [kW] | 67 |
| Figura 34: guadagni energetici interni in kWh mese di luglio | 68 |
| Figura 35: confronto temperatura interna [°C], dispersione attraverso l'involucro, per 13, 14 e 15 luglio | 68 |
| Figura 36: stratigrafia parete con isolamento EPS e caratteristiche stratigrafia parete con isolamento | 77 |

| | |
|---|-----|
| <i>Figura 37: Diagramma di Glaser relativo alla parete isolata</i> | 78 |
| <i>Figura 38: stratigrafia solaio di copertura con isolamento a schiuma poliuretanica e tabella con relative caratteristiche</i> | 79 |
| <i>Figura 39: Diagramma di Glaser relativo al solaio di copertura isolato</i> | 80 |
| <i>Figura 40: stratigrafia solaio intermedio con isolamento a schiuma poliuretanica e tabella con relative caratteristiche</i> | 81 |
| <i>Figura 41: Report e diagramma di Glaser relativo alla pavimentazione isolata</i> | 82 |
| <i>Figura 42: Caratteristiche nuovi infissi con vetro camera</i> | 83 |
| <i>Figura 43: andamento temperature, umidità relativa e indice di Fanger per 13, 14 e 15 gennaio dopo l'efficientamento</i> | 84 |
| <i>Figura 44: apporti energetici divisi per tipologia di "combustibile" per 13, 14, 15 gennaio [kW] dopo l'efficientamento</i> | 85 |
| <i>Figura 45: guadagni energetici interni per 13, 14 e 15 gennaio [kW] dopo l'efficientamento</i> | 86 |
| <i>Figura 46: apporti energetici in kWh mese gennaio dopo l'efficientamento</i> | 86 |
| <i>Figura 47: guadagni energetici interni mese di gennaio in kWh dopo l'efficientamento</i> | 87 |
| <i>Figura 48: consumi per la durata di tutta la stagione di riscaldamento [kW] dopo l'efficientamento</i> | 87 |
| <i>Figura 49: confronto temperatura interna [°C], dispersione attraverso l'involucro e fabbisogno di calore [kW] per 13, 14 e 15 gennaio dopo l'efficientamento</i> | 88 |
| <i>Figura 50: apporti energetici divisi per tipologia di "combustibile" per 13, 14, 15 luglio [kW] dopo l'efficientamento</i> | 88 |
| <i>Figura 51: apporti energetici mese di luglio [kWh] dopo l'efficientamento</i> | 89 |
| <i>Figura 52: guadagni energetici interni per 13, 14 e 15 luglio [kW] dopo l'efficientamento</i> | 89 |
| <i>Figura 53: guadagni energetici mese di luglio in kWh dopo l'efficientamento</i> | 90 |
| <i>Figura 54: confronto temperatura interna [°C], dispersione attraverso l'involucro [kW] per 13, 14 e 15 luglio dopo l'efficientamento</i> | 90 |
| <i>Figura 55: fabbisogno annuale dell'edificio prima dell'efficientamento [MWh]</i> | 91 |
| <i>Figura 56: fabbisogno annuale dell'edificio dopo dell'efficientamento [MWh]</i> | 91 |
| <i>Figura 57: fabbisogno annuale dell'edificio prima dell'efficientamento [Wh/m2]</i> | 92 |
| <i>Figura 58: fabbisogno annuale dell'edificio dopo dell'efficientamento [Wh/m2]</i> | 92 |
| <i>Figura 59: andamento temperature [°C], umidità relativa [%] e indice di Fanger per 13, 14 e 15 gennaio dopo la smartizzazione</i> | 104 |
| <i>Figura 60: andamento annuale dei consumi energetici e della produzione da fotovoltaico dopo la smartizzazione [MWh]</i> | 104 |
| <i>Figura 61: andamento annuale dei consumi energetici e della produzione da fotovoltaico dopo la smartizzazione [Wh/m2]</i> | 105 |
| <i>Figura 62: produzione fotovoltaica annua e consumi energetici parti comuni dell'edificio [kWh]</i> | 105 |
| <i>Figura 63: apporti energetici divisi per tipologia di "combustibile" per 13, 14, 15 gennaio [kW] dopo la smartizzazione</i> | 106 |
| <i>Figura 64: apporti energetici divisi per tipologia di "combustibile" mese gennaio in kWh dopo la smartizzazione</i> | 106 |

| | |
|--|------------|
| <i>Figura 65: guadagni energetici interni per 13, 14 e 15 gennaio [kW] dopo la smartizzazione</i> | <i>107</i> |
| <i>Figura 67: guadagni energetici interni, mese gennaio in kWh dopo la smartizzazione</i> | <i>107</i> |
| <i>Figura 68: andamento consumi energetici per l'intera stagione di riscaldamento [kW] dopo la smartizzazione</i> | <i>108</i> |
| <i>Figura 69: andamento temperatura [°C] e dispersione attraverso l'involucro [kW] per 13, 14 e 15 gennaio dopo la smartizzazione</i> | <i>109</i> |
| <i>Figura 70: apporti energetici divisi per tipologia di "combustibile" per 13, 14, 15 luglio [kW] dopo la smartizzazione</i> | <i>109</i> |
| <i>Figura 71: apporti energetici mese di luglio [kWh] dopo la smartizzazione</i> | <i>110</i> |
| <i>Figura 72: guadagni energetici interni per 13, 14 e 15 luglio [kW] dopo la smartizzazione</i> | <i>110</i> |
| <i>Figura 73: guadagni energetici interni mese di luglio [kWh] dopo la smartizzazione</i> | <i>111</i> |
| <i>Figura 74: andamento temperatura interna [°C] e dispersione attraverso l'involucro [kW] per 13, 14 e 15 luglio dopo la smartizzazione</i> | <i>111</i> |
| <i>Figura 75: grafico di confronto tra i consumi energetici per tutte le tre fasi e in base alla tipologia di vettore energetico [MWh]</i> | <i>115</i> |

Indice delle tabelle

| | |
|---|-----|
| Tabella 1: caratteristiche di una smart city (4) | 10 |
| Tabella 2: caratteristiche e fattori principali di una smart city (4) | 17 |
| Tabella 3: caratteristiche del palazzo preso in esame (28) | 37 |
| Tabella 4: Tabella durata stagionale e gradi giorno [30] | 47 |
| Tabella 5: norma UNI 10399 [39] | 50 |
| Tabella 6: Risultati dell'analisi effettuata da DB sulla Condensazione interstiziale | 54 |
| Tabella 7: Risultati dell'analisi effettuata da DB sulla Condensazione interstiziale | 56 |
| Tabella 8: Risultati dell'analisi effettuata da DB sulla Condensazione interstiziale | 58 |
| Tabella 9: Confronto tra temperatura operativa, fabbisogno di calore e dispersione attraverso l'involucro | 64 |
| Tabella 10: trasmittanza termica U massima delle strutture opache verticali (30) | 70 |
| Tabella 11: trasmittanza termica U massima delle strutture opache orizzontali o inclinate di copertura (30) | 71 |
| Tabella 12: trasmittanza termica U massima delle strutture opache orizzontali di pavimento (30) | 71 |
| Tabella 13: trasmittanza termica U massima delle chiusure tecniche trasparenti (30) | 71 |
| Tabella 14: Efficienze medie dei sottosistemi di generazione dell'edificio di riferimento per la produzione di energia termica e per la produzione di energia elettrica. (36) | 76 |
| Tabella 15: confronto tra le caratteristiche prima dell'isolamento e dopo | 78 |
| Tabella 16: Risultati dell'analisi effettuata da DB sulla Condensazione interstiziale sulla parete isolata | 78 |
| Tabella 17: confronto tra le caratteristiche prima dell'isolamento e dopo | 79 |
| Tabella 18: Risultati dell'analisi effettuata da DB sulla Condensazione interstiziale sul solaio di copertura isolato | 80 |
| Tabella 19: confronto tra le caratteristiche prima dell'isolamento e dopo per la pavimentazione | 81 |
| Tabella 20: Confronto tra Trasmittanze termiche prima e dopo l'efficientamento energetico | 83 |
| Tabella 21: valori temperature, umidità relativa e indice di Fanger per 13, 14 e 15 gennaio dopo l'efficientamento | 84 |
| Tabella 22: classe di efficienza energetica edifici, decreto legislativo 26 giugno 2015 (19) | 93 |
| Tabella 23: Costo per ogni tipologia di intervento (38) | 94 |
| Tabella 24: decreto legislativo 11 marzo 2008 (40) | 95 |
| Tabella 25: Detrazioni massime per tipologia di intervento (39) | 96 |
| Tabella 26: tabella riassuntiva investimenti, con e senza detrazioni | 97 |
| Tabella 27: consumi energetici prima e dopo l'efficientamento | 97 |
| Tabella 28: costo fonte, delta risparmio in kWh e in euro | 98 |
| Tabella 29: tabella riassuntiva investimento e risparmio economico | 98 |
| Tabella 30: consumi utilizzatori parti comuni condominio | 100 |
| Tabella 31: tabella riassuntiva delle tecnologie scelte e loro costi | 112 |
| Tabella 32: tabella riassuntiva prima e dopo le detrazioni fiscali | 113 |
| Tabella 33: consumi prima e dopo efficientamento, e delta risparmio | 117 |
| Tabella 34: delta risparmio in kWh e in Euro | 117 |
| Tabella 35: PBT per singoli interventi | 118 |

1. INTRODUZIONE

Circa il 40% del consumo interno lordo di energia è attribuibile agli edifici, e circa i due terzi di questo è causato dal riscaldamento. (1)

Ciò fa subito intuire, come negli ultimi anni, la crescita economica, lo sviluppo di città sempre più grandi, l'incremento della domanda e l'aumento dei consumi energetici, abbiano comportato un elevato conseguente sfruttamento di fonti fossili. I livelli preoccupanti di CO₂ e l'aumento graduale della temperatura mondiale, costringono le autorità internazionali ed europee a riunirsi e vagliare nuove soluzioni per ovviare a tali problematiche ambientali mondiali.

Un esempio fondamentale della nuova mentalità sviluppatasi negli ultimi anni, è il *Protocollo di Kyoto* approvato nel 1997: con tale documento si stabiliscono dei nuovi obiettivi da raggiungere, e i Paesi sottoscrittori di tale accordo si impegnavano a ridurre le emissioni di gas serra, almeno del 5% tra il 2008 e il 2012.

A fine 2012, la *Convenzione Quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici (UNFCCC)*, decide il rinnovo del Protocollo di Kyoto fino al 2020, ponendo dei nuovi obiettivi: riduzione dei gas serra del 18%. Purtroppo, però, questo non entrerà mai in vigore.

Successivamente, nel 2015 a Parigi, 195 Paesi adottano il primo accordo universale e giuridicamente vincolante sul clima mondiale. (2) L'accordo prevede l'aumento della temperatura di non più di 2°C, fondi per energia rinnovabile e soprattutto il consenso globale, anche da quelle nazioni come Cina, India e Stati Uniti, che precedentemente erano rimaste estranee. (3)

Da questo momento in poi, gli organi nazionali ed europei si impegnano tramite direttive e normative a rispettare i limiti approvati di diminuzione di gas serra, e a diffondere, grazie a metodi di incentivazione, lo sviluppo e utilizzo delle fonti rinnovabili.

Dunque, prerogativa essenziale per la costruzione di nuovi edifici o la ristrutturazione e riqualificazione di quelli già esistenti sono le fonti rinnovabili, l'efficienza energetica e il risparmio.

Tale lavoro di tesi (realizzato con la collaborazione della start up torinese Planet Idea), ha lo scopo di implementare un edificio *smart* e indagare i suoi vantaggi sia energetici che economici.

Un edificio *smart*, è un edificio intelligente, realizzato non soltanto per raggiungere il target di edificio “a energia netta zero”, ma è anche un edificio in cui prevale il risparmio energetico, raggiunto grazie all’interconnessione di tecnologie e servizi, è un edificio ecosostenibile, le cui caratteristiche principali sono la tecnologia, il risparmio, la sicurezza degli individui e le fonti rinnovabili e “pulite”.

È un edificio che aumenta la qualità della vita quotidiana degli individui che lo abitano. Dunque, partendo da un edificio esistente degli anni ‘60, sito a Milano, verrà realizzata un’opera di efficientamento, necessaria prima, e successivamente una di *smartizzazione*.

Si sottolinea la necessità dell’opera di efficientamento poiché, smartizzare a priori e rendere tecnologico, e ad alta efficienza un edificio degli anni ‘60 privo di isolamento, infissi e impianti efficienti e conformi alle nuove direttive, sarebbe insensato.

Verranno valutati gli effettivi consumi prima dell’efficientamento, successivamente a questo, e infine, quelli dopo aver realizzato la *smartizzazione*.

Tutto ciò verrà svolto con l’ausilio del software Design Builder.

Non sono state inserite tecnologie “troppo smart” in quanto il software non lo consente e inoltre perché essendo un edificio destinato a un ceto medio basso, si è optato per una spesa di investimento non oltre misura.

2. SMART CITY

La definizione di smart city è: “A Smart City is a city well performing in a forward-looking way in these six characteristics, built on the ‘smart’ combination of endowments and activities of self-decisive, independent and aware citizens” (4).

Per descrivere la Smart city e le sue sei caratteristiche, è necessario sviluppare una facile struttura gerarchica, dove ciascun livello è descritto dal risultato del livello sottostante. Inoltre, ogni caratteristica è definita da numerosi fattori, e questi fattori a loro volta, sono definiti da numerosi indicatori.

Da ciò si evince come sia possibile riassumere le sei caratteristiche principali della città intelligente come: "Smart economy, Smart people, smart governance, smart mobility, smart environment, smart living". (4)

Tabella 1: caratteristiche di una smart city (4)

| | |
|--|---|
| <p>SMART ECONOMY (Competitiveness)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Innovative spirit • Entrepreneurship • Economic image & trademarks • Productivity • Flexibility of labour market • International embeddedness • <i>Ability to transform</i> | <p>SMART PEOPLE (Social and Human Capital)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Level of qualification • Affinity to life long learning • Social and ethnic plurality • Flexibility • Creativity • Cosmopolitanism/Openmindedness • Participation in public life |
| <p>SMART GOVERNANCE (Participation)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Participation in decision-making • Public and social services • Transparent governance • <i>Political strategies & perspectives</i> | <p>SMART MOBILITY (Transport and ICT)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Local accessibility • (Inter-)national accessibility • Availability of ICT-infrastructure • Sustainable, innovative and safe transport systems |

| | |
|---|---|
| <p>SMART ENVIRONMENT (Natural resources)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Attractivity of natural conditions • Pollution • Environmental protection • Sustainable resource management | <p>SMART LIVING (Quality of life)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cultural facilities • Health conditions • Individual safety • Housing quality • Education facilities • Touristic attractivity • Social cohesion |
|---|---|

Una "smart city" rappresenta un centro urbano sostenibile ed efficiente, che possiede caratteristiche ben precise, atte a rendere la vita dei cittadini di qualità superiore.

La città smart, può essere classificata come tale, se gestisce in modo intelligente le attività economiche, la mobilità, le risorse ambientali, le politiche dell'abitare, il rapporto tra i cittadini.

È basata su una gestione ottimale delle risorse, sia energetiche che umane, ha lo scopo di risolvere i problemi causati dall'aumento della popolazione e dell'urbanizzazione, come l'approvvigionamento energetico e la sua gestione, la gestione dei rifiuti e della mobilità.

È caratterizzata dall'interconnessione tra tecnologie digitali, che hanno il compito di migliorare l'affidabilità, la sicurezza e l'efficienza non soltanto dal punto di vista energetico.

La smart city dunque, basa la sua "intelligenza" sull'utilizzo della *smart grid*, ossia un sistema di informazioni interconnesse tra loro, dotata di sensori e software in grado di poter gestire in modo ottimale la distribuzione di energia elettrica e di utilizzare in modo più razionale l'energia, minimizzando perdite e sovraccarichi.

Inoltre, grazie all'integrazione di sistemi a fonti rinnovabili, di sistemi di accumulo, di tecnologie a risparmio energetico e veicoli elettrici, i benefici ottenuti non sono trascurabili.

A tutto ciò va aggiunto anche il contributo della società, che all'interno di una smart city, diventa parte integrante, rendendola un centro inclusivo e di aggregazione, e non soltanto un nucleo abitativo.

2.1 Tecnologie e soluzioni per una smart city

La smart city ha lo scopo di minimizzare la dipendenza da fonti fossili, di rendere la città sostenibile, di minimizzare gli sprechi e i costi energetici, l'inquinamento e di includere in modo attivo tutti i cittadini.

È dunque importante analizzare i seguenti aspetti:

Dal punto di vista infrastrutturale, è importante che tutte le risorse vengano utilizzate in rete in questo modo è possibile un miglioramento dell'efficienza economica, politica, e soprattutto un miglioramento dello sviluppo sociale, culturale e urbano.

Dal punto di vista economico, la città smart deve approfittare dei vantaggi derivanti dall'utilizzo delle tecnologie ICT (*information communication technology*) per aumentare la competitività e la prosperità locale, e attirare nuove imprese. Deve inoltre, puntare alla pianificazione eseguita in modo intelligente. (5)

Il capitale sociale assume all'interno delle città intelligenti un ruolo fondamentale. Adesso, la comunità è parte integrante, ha imparato ad apprendere, adattarsi e innovare. Sono dunque importanti iniziative la progettazione partecipata, la consultazione on-line per consentire ai cittadini di sentirsi realmente coinvolti, e non è da tralasciare il miglioramento della gestione della città e del tempo.

Dal punto di vista ambientale, emerge l'esigenza della sostenibilità, aspetto molto importante che negli ultimi anni sta cercando di diminuire il servirsi delle fonti fossili, per promuovere quelle rinnovabili. Iniziative tese a ridurre le emissioni di sostanze inquinanti e gas serra sono da considerare indispensabili.

Dal punto di vista tecnologico, l'utilizzo di determinate tecnologie fa di una città, una *città smart*. Un esempio, potrebbe essere una rete di sensori in grado di misurare diversi parametri per una gestione efficiente della città, con dati forniti in modalità wireless e in tempo reale direttamente ai cittadini, che possono dunque, monitorarli. È possibile installare sensori per monitorare la concentrazione di inquinamento, o è possibile ottimizzare l'irrigazione o l'illuminazione delle strade. Analogamente, si possono rivelare perdite idriche, eseguire mappature del rumore, ricevere segnali automatici da parte dei cassonetti della spazzatura quando sono quasi pieni. (5)

Per quanto riguarda il traffico stradale si può agire su diversi aspetti. Ad esempio, sui cicli semaforici per gestire la circolazione dei veicoli, oppure si possono ottenere

informazioni in tempo reale per riuscire a trovare parcheggio rapidamente, risparmiando così tempo, carburante e diminuendo sia il traffico che le emissioni nocive. Per il trasporto pubblico è possibile implementare sistemi di monitoraggio e di avviso dei passaggi degli autobus o dei mezzi pubblici dalle fermate, sistemi per altro già in uso in molte città, che permettono una gestione ottimale della vita quotidiana dei cittadini. (5)

Dal punto di vista della sicurezza, è fondamentale predisporre un piano di emergenza comunale, con riferimento alle situazioni più a rischio ed informare la popolazione sulle misure di sicurezza da adottare. (5)

Per raggiungere questi scopi, vi è sicuramente la necessità di integrazione di sistemi "intelligenti" con la rete elettrica, di particolari software che comunichino tra loro le informazioni registrate tramite sensori, e di opere di modernizzazione, non soltanto dei sistemi energetici. Nuove tecnologie ICT, a tal senso, sono state sviluppate per aumentare l'efficienza dei sistemi energetici e per perfezionare la comunicazione e il trasporto. (6)

Le tecnologie da poter sfruttare sono tante, e riguardano molti aspetti quotidiani di una città. Vi è da considerare sistemi per la mobilità privata e pubblica, l'illuminazione pubblica, ma anche la raccolta dei rifiuti. Tutto ciò va fatto considerando sistemi a risparmio energetico e a basse (se non nulle) emissioni di gas serra.

Un esempio per poter ridurre il consumo energetico dovuto all'illuminazione pubblica, potrebbe essere quello di installare sensori di movimento in modo tale da permettere l'accensione delle luci solo in caso di necessità, e con l'utilizzo di lampadine led si avrebbe un ulteriore risparmio. Inoltre, si potrebbero realizzare le lampade provviste di pannelli fotovoltaici con accumulo di energia. Tutto ciò coniuga l'efficienza energetica alla produzione da fonte rinnovabile, risultando autonoma e indipendente dalla rete elettrica.

Un'ulteriore innovazione sarebbe la realizzazione di palizzate "energetiche", ossia una palizzata che sfrutta il calore ambientale, e utilizza il terreno come accumulo termico combinando energia solare e energia geotermica, riducendo anche le emissioni di rumore. O ancora, si potrebbe pensare all'utilizzo di "solar bricks" ovvero mattoni in vetro, da inserire nelle pavimentazioni, che includono celle fotovoltaiche, un dispositivo di accumulo, un sistema di illuminazione e dei sensori di movimento che

permettono l'accensione di piccoli led. Questo sistema potrebbe essere particolarmente adatto negli spazi pubblici come piazze, strade, ponti, giardini. Sarebbe anche interessante, la realizzazione di pavimenti che producono energia, costituiti da particolari piastrelle che trasformano l'energia cinetica prodotta dal calpestio in energia elettrica, oppure la realizzazione nelle strade di dossi e dissuasori di velocità, che oltre a incrementare la sicurezza stradale, trasformano l'energia cinetica prodotta dal passaggio o dalle frenate dei veicoli in energia elettrica, distribuita successivamente alla rete pubblica.

Come già detto, la partecipazione cittadina diventa requisito fondamentale di una smart city. Il metodo più efficace per includere gli abitanti è quello di ristrutturare, rimodernare e rendere più vivibili gli spazi pubblici, rivalutando piazze, giardini e spazi aperti. Per esempio, si potrebbe pensare alla realizzazione di attrezzi ginnici che siano in grado di trasformare l'energia cinetica prodotta dagli utenti in energia elettrica, che può essere immessa in rete oppure ricaricare accumulatori o alimentare direttamente dispositivi collegati all'attrezzo. Allo stesso modo, si potrebbero implementare all'interno di giardini pubblici, dei giochi per bimbi, dotati di un'interfaccia, interattivi, che in modo ludico, mettano in evidenza quanta energia si sta producendo.

La riduzione delle emissioni nocive, la riduzione dell'uso di fonti fossili a favore di quelle rinnovabili, è una caratteristica principale di una smart city. Dunque, l'implementazione di impianti che utilizzino "energia pulita" per produrre elettricità o calore deve essere prerogativa indispensabile.

È possibile l'installazione di impianti fotovoltaici o solari termici sui tetti singoli di ogni abitazione, o uffici, o aziende, oppure ove possibile, si potrebbe considerare la realizzazione di un intero parco che alimenti tutta la città, o un settore specifico, come quello residenziale. In questo modo, si avrebbe un'elevata riduzione dei costi di energia elettrica, producendo o elettricità o calore, o entrambi.

Anche impianti eolici, geotermici o a biomassa sono da considerare come fonte di produzione energetica, da poter installare, in base alle varie esigenze. Le pompe di calore geotermiche che sfruttano l'acqua di falda, consentono un significativo risparmio sui costi per il riscaldamento, e utilizzando una fonte energetica rispettosa dell'ambiente e rinnovabile, riducendo significativamente le emissioni di CO₂. Le microcentrali idroelettriche, che trasformano l'energia potenziale dell'acqua in energia

meccanica, che a sua volta viene trasformata in energia elettrica, sono di particolare interesse poiché sfruttando i bacini d'acqua contenuti, risultano dunque, sicure e a impatto ambientale e paesaggistico ridotti.

Data l'imprevedibilità produttiva dei sistemi a fonti rinnovabili, è necessario accoppiare a questi ultimi dei sistemi di accumulo, che consentano la continuità energetica. Tra i principali sistemi di accumulo vi sono le batterie, che accumulano energia elettrica grazie alla trasformazione diretta di energia chimica, i super conduttori che immagazzinano energia elettrica in un campo magnetico generato da una differenza di potenziale, gli accumulatori idroelettrici, che sfruttano l'energia potenziale dell'acqua pompata da una zona più bassa ad una più alta producendo elettricità passando attraverso una turbina, gli accumulatori energetici ad aria compressa (CAES), che accumulano energia sotto forma di aria compressa, e i sistemi di accumulo termici, che usano fluidi o altri materiali per immagazzinare energia termica per successivi utilizzi.

Una città per poter raggiungere lo status di città sostenibile, a impatto zero, dovrebbe accelerare la diffusione delle rinnovabili su ogni possibile settore:

- Energia rinnovabile negli edifici;
- Opzioni sostenibili nel trasporto;
- Utilizzare sistemi energetici "smart" integrati.

Edifici e trasporto sono i settori che più contribuiscono al consumo energetico, e ciò che accade in questi settori determina la sostenibilità dell'uso energetico.

In questo campo, i governi possono svolgere un ruolo fondamentale nel promuovere politiche di sostegno, dimostrative e innovative, atte a fornire le giuste infrastrutture e tecnologie. (6)

Una città sostenibile che promuove il risparmio energetico, deve anche avviare una politica dedicata alla riduzione dello "spreco" di calore. Infatti, una larga quantità di calore viene perduto ogni anno da processi di generazione di potenza e processi industriali. Uno dei metodi più efficienti per il riutilizzo di questo calore è la cogenerazione, ossia la produzione combinata di elettricità e di calore in una centrale termoelettrica.

Per quanto riguarda il trasporto ferroviario, le principali opzioni sono quelle di utilizzo di treni a trazione elettrica, e metropolitane; per strada, le opzioni principali sono i veicoli elettrici o ibridi, che utilizzano biocarburanti o idrogeno.

Dunque, nei prossimi anni, la mobilità elettrica è considerata come uno dei più promettenti modi per ridurre l'inquinamento e le emissioni di gas ad effetto serra, e sarà fondamentale per promuovere le energie rinnovabili. Inoltre, le stazioni di ricarica sono una parte essenziale per poter incoraggiare i cittadini ad acquistare veicoli elettrici. (7)

Il "car sharing" e il "bike sharing" sono modi alternativi all'utilizzo dell'auto privata, consentendo quindi la diminuzione di traffico.

Tutte le città hanno un certo grado di controllo sull'illuminazione stradale, che può consumare fino al 40% del bilancio energetico. A tal senso, soluzioni rinnovabili off-grid si stanno sviluppando rapidamente. Il maggior sviluppo è basato su impianti fotovoltaici da 1-10 W, principalmente utilizzati per sostituire le fonti inefficienti di illuminazione. (6)

L'emergere delle città intelligenti pone enormi sfide per questi stili di modellazione per molte ragioni. Innanzitutto, la città si è trasformata da un luogo dominato da azioni fisiche a quello in cui tali azioni sono completate da un ampio uso delle tecnologie dell'informazione.

In secondo luogo, molte funzioni di routine sono state sostituite dai computer, e le varie forme di automazione sono sempre più combinate con azioni umane.

In terzo luogo, la fornitura di dati tramite queste nuove funzioni elettroniche offre la prospettiva di un mondo in cui gli sviluppi della città sono sempre disponibili, e tale immediatezza sta comprimendo le scale temporali, grazie ai dati che vengono aggiornati in tempo reale.

Dalla tabella sottostante, per concludere, è possibile riassumere le caratteristiche e i fattori che contribuiscono a rendere una città comune, una città smart.

Tabella 2: caratteristiche e fattori principali di una smart city (4)

| | factor | indicator | year | level |
|--|----------------------------------|--|----------|----------|
| Smart Economy | Innovative spirit | R&D expenditure in % of GDP | 2003 | regional |
| | | Employment rate in knowledge-intensive sectors | 2004 | regional |
| | | Patent applications per inhabitant | 2003 | regional |
| | Entrepreneurship | Self-employment rate | 2001 | local |
| | | New businesses registered | 2001 | local |
| | Economic image & trademarks | Importance as decision-making centre (HQ etc.) | 2007 | regional |
| | Productivity | GDP per employed person | 2001 | local |
| | Flexibility of labour market | Unemployment rate | 2005 | regional |
| | | Proportion in part-time employment | 2001 | local |
| | International embeddedness | Companies with HQ in the city quoted on national stock market | 2001 | local |
| Air transport of passengers | | 2003 | regional | |
| Air transport of freight | | 2003 | regional | |
| Smart People | Level of qualification | Importance as knowledge centre (top research centres, top universities etc.) | 2007 | regional |
| | | Population qualified at levels 5-6 ISCED | 2001 | local |
| | | Foreign language skills | 2005 | national |
| | Affinity to life long learning | Book loans per resident | 2001 | local |
| | | Participation in life-long-learning in % | 2005 | regional |
| | | Participation in language courses | 2005 | national |
| | Social and ethnic plurality | Share of foreigners | 2001 | local |
| | | Share of nationals born abroad | 2001 | local |
| | Flexibility | Perception of getting a new job | 2006 | national |
| | Creativity | Share of people working in creative industries | 2002 | national |
| | Cosmopolitanism/ Open-mindedness | Voters turnout at European elections | 2001 | local |
| | | Immigration-friendly environment (attitude towards immigration) | 2006 | national |
| | | Knowledge about the EU | 2006 | national |
| Participation in public life | Voters turnout at city elections | 2001 | local | |
| | Participation in voluntary work | 2004 | national | |
| Smart Governance | Participation in decision-making | City representatives per resident | 2001 | local |
| | | Political activity of inhabitants | 2004 | national |
| | | Importance of politics for inhabitants | 2006 | national |
| | | Share of female city representatives | 2001 | local |
| | Public and social services | Expenditure of the municipal per resident in PPS | 2001 | local |
| | | Share of children in day care | 2001 | local |
| | | Satisfaction with quality of schools | 2005 | national |
| | Transparent governance | Satisfaction with transparency of bureaucracy | 2005 | national |
| Satisfaction with fight against corruption | | 2005 | national | |

| | factor | indicator | year | level |
|--|--|---|----------|----------|
| Smart Mobility | Local accessibility | Public transport network per inhabitant | 2001 | local |
| | | Satisfaction with access to public transport | 2004 | national |
| | | Satisfaction with quality of public transport | 2004 | national |
| | (Inter-)national accessibility | International accessibility | 2001 | regional |
| | Availability of ICT-infrastructure | Computers in households | 2006 | national |
| | | Broadband internet access in households | 2006 | national |
| | Sustainable, innovative and safe transport systems | Green mobility share (non-motorized individual traffic) | 2001 | local |
| | | Traffic safety | 2001 | local |
| Use of economical cars | | 2006 | national | |
| Smart Environment | Attractivity of natural conditions | Sunshine hours | 2001 | local |
| | | Green space share | 2001 | local |
| | Pollution | Summer smog (Ozon) | 2001 | local |
| | | Particulate matter | 2001 | local |
| | | Fatal chronic lower respiratory diseases per inhabitant | 2004 | regional |
| | Environmental protection | Individual efforts on protecting nature | 2004 | national |
| | | Opinion on nature protection | 2006 | national |
| | Sustainable resource management | Efficient use of water (use per GDP) | 2001 | local |
| Efficient use of electricity (use per GDP) | | 2001 | local | |
| Smart Living | Cultural facilities | Cinema attendance per inhabitant | 2001 | local |
| | | Museums visits per inhabitant | 2001 | local |
| | | Theatre attendance per inhabitant | 2001 | local |
| | Health conditions | Life expectancy | 2001 | local |
| | | Hospital beds per inhabitant | 2001 | local |
| | | Doctors per inhabitant | 2001 | local |
| | | Satisfaction with quality of health system | 2004 | national |
| | Individual safety | Crime rate | 2001 | local |
| | | Death rate by assault | 2001-03 | regional |
| | | Satisfaction with personal safety | 2004 | national |
| | Housing quality | Share of housing fulfilling minimal standards | 2001 | local |
| | | Average living area per inhabitant | 2001 | local |
| | | Satisfaction with personal housing situation | 2004 | national |
| | Education facilities | Students per inhabitant | 2001 | local |
| | | Satisfaction with access to educational system | 2004 | national |
| | | Satisfaction with quality of educational system | 2004 | national |
| | Touristic attractivity | Importance as tourist location (overnights, sights) | 2007 | regional |
| | | Overnights per year per resident | 2001 | local |
| Social cohesion | Perception on personal risk of poverty | 2006 | national | |
| | Poverty rate | 2005 | national | |

3. SMART BUILDING

Requisito fondamentale delle smart city è l'interconnessione dei servizi e dei sistemi presenti in esse, che devono scambiare tra loro i dati ottenuti.

L'interconnessione, può essere conseguita considerando tre gruppi principali di "condivisione": dati provenienti dai sistemi privati dell'utente (dunque privati), che a loro volta, vengono aggregati e costituiscono i dati del "sistema quartiere", accessibili agli abitanti, e i dati del "sistema città", che costituiscono tutti quei dati accessibili al cittadino, che caratterizzano la smart city.

Dunque, la caratteristica principale delle smart city, è lo smart building.

Questi edifici, devono possedere requisiti ben precisi: alta efficienza energetica e impatto zero.

Con il progresso nel campo dell'edilizia, negli ultimi anni stiamo assistendo all'evoluzione della rete di distribuzione dell'energia elettrica, che si sta evolvendo velocemente nella "smart grid". Perché questo cambiamento sia completo, è importante che anche i nodi di questa maglia, cioè gli edifici, diventino intelligenti.

Un edificio intelligente è una struttura in cui gli impianti sono gestiti in maniera integrata ed ottimizzata, con lo scopo di massimizzare il confort e il benessere, la sicurezza, riducendo consumi e costi. Dunque, per raggiungere questi scopi, un edificio intelligente ha bisogno di dispositivi di controllo e analisi del fabbisogno energetico e dei consumi. Questi dispositivi devono essere in grado di comunicare in tempo reale con la rete, ed in base alle configurazioni che si ottengono, si possono garantire diversi "livelli di intelligenza". (8)

Lo smart building è un edificio più economico perché riduce i consumi energetici e i costi operativi, è più efficiente perché ha il controllo di tutti gli asset disponibili e del loro modo di utilizzo, è un edificio più sicuro ed efficace perché ha il giusto controllo delle manutenzioni e degli interventi. (9) Gli edifici intelligenti sono strettamente legati alle smart grid. Con questo termine si intende un sistema elettrico evoluto che gestisce fonti energetiche, centralizzate o distribuite, tramite l'utilizzo diffuso ed integrato di sistemi di misura, di comunicazione, elaborazione e controllo.

Le caratteristiche principali di uno smart building sono: efficienza energetica, sicurezza, comfort ambientale e interconnessione tra vari sistemi.

È possibile visualizzarle nel grafico sottostante, che evidenzia non solo le caratteristiche principali, ma anche i sistemi e le applicazioni che possono portare a termine alcuni dei requisiti fondamentali degli edifici intelligenti. (10)



Figura 1:Caratteristiche di uno smart building (10)

Vi è un rapporto biunivoco tra il fenomeno degli smart building e il concetto di *Information Communication Technology*. Entrambi vengono considerati alla base della costruzione di una smart city, ma essi, da soli, non bastano.

Infatti, il concetto di "smart" ha molto più di un significato, e deve essere associato a tecnologie innovative, che a loro volta devono essere inglobate in una visione sistematica della città.

Pertanto, tale concetto non corrisponde solo al grado di tecnologia utilizzata nel contesto urbano, ma alla gestione interna della città, in grado di far dialogare persone e "cose", integrando informazioni, in tempo reale, generando inclusione.

Dunque, "l'intelligenza" di un edificio, sta nell'integrazione e ottimizzazione della gestione di vari aspetti, come il riscaldamento, l'illuminazione, la qualità degli ambienti, o la sicurezza, collegati tra loro attraverso una rete di connessione locale.

Applicazione fondamentale degli edifici intelligenti è l'*Internet of Things*, ossia "oggetti intelligenti" capaci di interagire con altri oggetti, con l'uomo o con il resto del mondo attraverso l'utilizzo della rete internet.

Il concetto di "thing" è applicabile in generale a qualunque oggetto o tecnologia connessa ad internet e che è in grado di elaborare, raccogliere, memorizzare e trasmettere informazioni riguardanti sé stessa o qualsiasi altra entità ad essere collegata. Sono capaci di elaborare dati e trasferirli attraverso internet senza la necessità di un'interazione fisica, o uomo-computer.

Dunque, l'Internet of things rappresenta l'interconnessione tra l'infrastruttura esistente di Internet e dispositivi di computazione integrati all'interno di oggetti. (11)

(12)

Esempi comuni che possono essere considerati sono i semplici termostati che regolano la temperatura ambiente, in base alle persone presenti.

3.1 Tecnologie e soluzioni per uno smart building

Un edificio per essere classificato come "smart" necessita sicuramente di alcune caratteristiche fondamentali, come spiegato precedentemente.

Di seguito, alcune implementazioni fondamentali verranno analizzate nel dettaglio, distinguendo tra gli spazi interni di un edificio e quelli esterni, e tra spazi interni collettivi e privati.

Inoltre, verranno suddivise le diverse tecnologie in funzione del loro scopo: risparmio energetico e produzione di energia termica/elettrica, raccolta dati e smart metering.

3.1.1 Spazi Interni privati dell'edificio

3.1.1.1 Risparmio energetico e produzione di energia termica/elettrica

Smart Assistant. Dispositivo che si avvale dell'intelligenza artificiale di Amazon Alexa, riconoscendo i comandi vocali dell'utente, è capace di controllare tutti i dispositivi connessi. (13)

Un esempio è quello realizzato da Lenovo, al prezzo di 129 dollari circa. (14)

Gestione illuminazione. Dispositivi che permettono di calibrare la luminosità delle lampade, con la possibilità di programmare lo spegnimento/accensione. (13)

Un esempio è il *Wemo Dimmer* di Belkin, azienda californiana. (15)

Elettrodomestici controllati da remoto. È possibile tramite dispositivi wireless o bluetooth controllare elettrodomestici di ogni genere da remoto. Un esempio è *Wemo Mini Smart plug*, di Belkin, con un prezzo di circa 35 dollari. (13)

Smart Interruttori e Prese di corrente. Attraverso i comandi vocali è possibile controllare da remoto tutto ciò che è collegato ad una presa "smart". Questo dispositivo è in modalità wireless e funziona attraverso una app connessa ai vari dispositivi. (13)

Tale dispositivo è stato progettato da Netatmo in collaborazione con l'azienda francese Legrand.

Rilevatori antincendio e antifurto smart. Il primo, percependo fumo in casa, attiva tempestivamente un allarme sonoro e in tempo reale invia un sos allo smartphone, specificando in quale parte della casa è stato rilevato; il secondo è un allarme di sicurezza a riconoscimento facciale, collegato anche ai sensori di sicurezza per porte e finestre, così come le videocamere di sicurezza. Se il sistema rileva una presenza estranea attiva un allarme e invia una notifica sullo smartphone. (13)

Un esempio di questo dispositivo è quello realizzato dalla Netatmo.

Compostiera Domestica che Genera Biogas. È un piccolo sistema di compostaggio domestico di circa 2 m³, che converte tutti i rifiuti organici in biogas, utilizzabile per alimentare i fuochi della cucina, e in fertilizzante liquido, utilizzabile nel proprio

giardino. Questo dispositivo può essere utilizzato in appartamenti privati oppure può essere progettato per l'intero condominio.

Lavabo collegato a vaso. Questo sistema permette di collegare il lavabo e il WC in un unico elemento, permettendo l'utilizzo dell'acqua del lavabo per il riempimento della cisterna del WC, con un sistema integrato automatico per prevenire la formazione di batteri e cattivi odori. Questo sistema permette una riduzione dei consumi idrici del 25% circa. (16)

3.1.1.2 Raccolta dati tramite dispositivi wireless/bluetooth

Beacon. Sono trasmettitori radio a bassa frequenza che sfruttano la tecnologia Bluetooth per monitorare la presenza di dispositivi mobili e dialogare con essi. Questi dispositivi rappresentano un elemento portante di un edificio intelligente, raccolgono dati relativi all'ambiente e a come le persone vivono i luoghi che abitano. (17)

3.1.2 Spazi Interni collettivi all'edificio

3.1.2.1 Risparmio energetico e produzione di energia termica/elettrica

Accumulatori domestici. Sono essenzialmente sistemi di energy storage, cioè batterie, che accumulano l'energia prodotta da pannelli fotovoltaici, o altri dispositivi, dando la possibilità di utilizzarla nei momenti di mancata produzione (es. la notte). Le batterie più efficienti sono quelle costituite da ioni di litio (Li-Ion), che vengono integrate ad un sistema "inverter". Possono essere utilizzati in residenze private o anche in condomini, in base alla taglia della batteria da utilizzare.

Generatori geotermici ad alta o bassa profondità. L'energia geotermica sfrutta la temperatura immagazzinata nel sottosuolo del nostro pianeta, che aumenta proporzionalmente con la profondità. Questa energia è possibile sfruttarla, portandola in superficie, utilizzandola come fluido vettore all'interno di sistemi atti alla produzione di energia termica. I sistemi più diffusi sono quelli geotermici a bassa entalpia che sfruttano il naturale calore del terreno con l'ausilio di una pompa di calore,

producendo energia termica per acqua calda sanitaria o per il riscaldamento degli edifici.

Micro Cogeneratore. La microcogenerazione è la produzione combinata di elettricità e di calore da un unico impianto di piccola taglia. La microcogenerazione è spesso indicata con la sigla MCHP, acronimo di *micro combined heating and power*. La configurazione più semplice consiste nell'abbinamento tra un motore a gas, la cui energia meccanica viene trasformata in energia elettrica, e un sistema di recupero del calore di scarto per la produzione di energia termica. Tali dispositivi, pur essendo alimentati da fonti fossili, sono caratterizzati da un'elevata efficienza energetica e da ridotte emissioni. Possono essere utilizzati anche come singolo dispositivo all'interno degli appartamenti privati.

Pannelli Fotovoltaici. I pannelli fotovoltaici sono dispositivi costituiti da celle fotovoltaiche (spesso in silicio), che convertono l'energia solare incidente in energia elettrica e che, quindi, viene utilizzato come generatore di corrente elettrica. Le celle sono realizzate in silicio amorfo, mono o policristallino, caratterizzate da strisce argentate sulla superficie, che rappresentano i contatti chimici per la connessione in serie di più celle, formando in questo modo un modulo fotovoltaico. Con tale implementazione, si riducono le emissioni nocive.

Pannelli solari per ACS. Questi tipi di pannelli solari trasformano l'energia solare in energia termica, scaldando dei fluidi tipicamente accumulati in serbatoi. I sistemi più diffusi, denominati "a bassa temperatura", scaldano fluidi tramite collettori solari a temperature inferiori ai 100 gradi centigradi, e principalmente vengono impiegati per la produzione di acqua calda sanitaria, al riscaldamento domestico ed alla produzione di calore a bassa temperatura ad uso industriale.

Un altro esempio di pannelli solari, sono quelli che combinano i tradizionali pannelli solari alle pompe di calore. Questi prendono il nome di *pannelli termodinamici*. Il loro utilizzo è basato sul Principio di Carnot, che sfrutta il ciclo frigorifero al contrario per produrre acqua calda.

Pannelli solari Termodinamici. Questo dispositivo coniuga due tecnologie già abbastanza affermate: la pompa di calore e il collettore solare termico. Il fluido refrigerante, percorrendo il circuito chiuso del pannello, immagazzina calore dall'ambiente esterno, dopodiché questo calore viene trasferito verso uno

scambiatore, attraverso l'ausilio di un piccolo compressore, che riscalda l'acqua. Il fluido si raffredda e il ciclo si ripete. Il fluido utilizzato possiede una temperatura di ebollizione.

Centralina Qualità Aria Esterna. È un dispositivo di misurazione di gas e polveri inquinanti, attraverso campionamenti dinamici dell'aria. Consente, tramite il monitoraggio dell'inquinamento atmosferico, di raccogliere dati che possono essere visualizzati in tempo reale, o inviati a banche dati, per programmare azioni di riduzione delle emissioni o verificare le misure già adottate.

3.1.3 Spazi Esterni all'edificio

Barriere Antirumore. Sono dispositivi utilizzati per la difesa passiva alla propagazione del rumore, localizzati nei pressi di edifici residenziali a protezione rispetto all'inquinamento acustico.

Tali dispositivi sono caratterizzati da specifici materiali fonoassorbenti, accoppiati ad altri tipi di materiali come il legno. Inoltre, è possibile realizzarli con un rivestimento di pannelli fotovoltaici, in questo modo oltre a garantire la loro funzione di protezione antirumore, convertono energia solare in elettricità. (18)

Un esempio di tale innovazione è stato realizzato lungo il tratto autostradale del Brennero. (18)

Come spazi esterni di un edificio/condominio è possibile considerare dei giardini o delle aiuole in cui installare alcune tecnologie smart, ad esempio le panchine con il wifi, oppure degli orti condominiali da coltivare e curare, o ancora degli attrezzi ginnici che producono energia. Inoltre, negli spazi esterni comuni, è possibile installare lampioni con dimmer e sensori, con pannelli solari e accumulo.

4. LEGISLAZIONE IN CAMPO ENERGETICO

4.1 Legislazione Europea

L'efficienza energetica negli ultimi anni ha assunto un ruolo fondamentale all'interno della politica Europea. Infatti, per contrastare l'aumento della temperatura climatica e dei gas serra, per ridurre l'utilizzo di fonti fossili e per promuovere, al contrario, le fonti rinnovabili, l'attività dei singoli stati membri ha rivolto l'attenzione a politiche di risparmio energetico e alta efficienza.

Le prime direttive sono state la 89/106/CEE e la 92/42/CEE relative rispettivamente alla certificazione dei materiali da costruzione e i requisiti di rendimento delle caldaie alimentate da combustibili liquidi o gassosi.

In seguito alle suddette, è stata introdotta la Direttiva 92/75/CEE che prevede l'obbligo di indicare il consumo di energia degli apparecchi domestici.

La 93/76/CEE è stata la prima vera legislazione diretta alla riduzione dei consumi energetici. Questa mira alla riduzione delle emissioni di CO₂ attraverso la certificazione energetica, l'isolamento termico degli edifici e il controllo periodico obbligatorio delle caldaie.

La direttiva 2002/91/CE pone l'attenzione alla tutela dell'ambiente, alla necessità di una metodologia per il calcolo del rendimento energetico tenendo conto di attività di miglioramento edilizio, coibentazione, risparmio energetico e utilizzo di fonti rinnovabili di energia. Tale direttiva nota come *Energy Performance Building Directive*, stabilisce i criteri e le modalità per ottimizzare le prestazioni energetiche degli edifici al fine di favorire l'integrazione con fonti rinnovabili. Considera le caratteristiche termiche dell'edificio, la posizione geografica, l'impianto di riscaldamento e climatizzazione, l'impianto di produzione d'acqua calda sanitaria, l'impianto di illuminazione e di ventilazione. (19)

La direttiva 2006/32/CE riguarda l'efficienza degli usi finali dell'energia. Il suo scopo è quello di migliorare l'efficienza dal punto di vista dei costi e benefici. Vengono definiti concetti come "efficienza energetica", "risparmio energetico" e "certificato bianco".

Successivamente, con l'approvazione della direttiva 2009/28/CE viene promosso l'utilizzo di fonti rinnovabili, ponendo *obiettivi obbligatori* da parte degli Stati membri, il cosiddetto *Piano 20-20-20*. Tale piano fissa come obiettivo, la riduzione del 20% delle emissioni di gas serra, l'aumento del 20% dell'energia prodotta da fonti rinnovabili e il raggiungimento di risparmio energetico del 20%.

Con la direttiva 2010/31/UE, che sostituisce la precedente 2002/91/CE, l'approccio energetico viene inquadrato e pianificato per tutti gli Stati dell'Unione Europea.

È stato calcolato infatti, che il 40% del consumo energetico è dovuto a circa 160 milioni di edifici. L'*articolo 9* della direttiva stabilisce che *entro il 31 dicembre 2020 tutti gli edifici di nuova costruzione siano ad altissima prestazione energetica*, ciò significa che il loro fabbisogno energetico deve essere molto basso o nullo, e che sia coperto interamente, o quasi, da fonti rinnovabili. (20)

La direttiva 2012/27/UE che modifica le direttive 2009/125/CE e 2010/30/UE e abroga le direttive 2004/8/CE e 2006/32/CE, stabilisce una linea comune da adottare per la promozione e aumento dell'efficienza energetica del 20% entro il 2020. Impone l'obbligo per gli edifici pubblici con area superiore ai 500 mq e dotati di impianti di climatizzazione di aumentare l'isolamento termico, rinnovando annualmente il 3% delle pavimentazioni. (21)

4.2 Legislazione Italiana in Campo Energetico

Anche l'Italia, già dagli anni '70, ha promosso una politica atta al risparmio energetico in campo edilizio, rivolta soprattutto all'efficienza, all'utilizzo di fonti rinnovabili e diminuzione di emissioni di gas serra nocivi per l'ambiente.

Con la legge n.373/76 vengono definite le caratteristiche di prestazione degli impianti termici alimentati da combustibili fossili, la loro manutenzione e il loro esercizio. Altresì sono regolate le caratteristiche di isolamento termico degli edifici, atte alla diminuzione dell'utilizzo degli impianti termici per il riscaldamento, e vengono definiti per la prima volta i "gradi giorno". La successiva 10/91 regola i consumi di energia negli edifici pubblici e privati, l'esercizio e la manutenzione degli impianti esistenti.

Il decreto legislativo 192/05 introduce l'obbligo della *Certificazione Energetica* degli edifici. Secondo tale normativa, vi è l'obbligo di rilascio da parte del costruttore di un Attestato di certificazione in cui vengono riportati e descritti i livelli di consumo di energia. Con il decreto legislativo 311/06 vengono stabiliti gli stadi per l'applicazione della procedura e i valori limite di prestazione energetica relativi al riscaldamento invernale e di trasmittanza termica dell'involucro, che variano in funzione della zona climatica. L'Attestato di prestazione energetica deve contenere: il fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione invernale, l'indice di prestazione energetica, i valori limiti ammissibili. Deve inoltre riportare i parametri climatici della località presa in esame e i riferimenti alle norme utilizzate per il calcolo. Con tale decreto viene introdotto anche l'obbligo di utilizzo di fonti rinnovabili soprattutto per la produzione di energia elettrica.

Successivamente con il decreto legge 102/2014, in attuazione della direttiva 2012/27/UE, vengono definite le azioni atte a migliorare l'efficienza energetica in tutti i settori, con lo scopo di raggiungere l'obiettivo di risparmio energetico al 2020, con la riduzione di 20 milioni di tonnellate equivalenti di petrolio. Inoltre, in tutti gli edifici dotati di impianti centralizzati di riscaldamento e climatizzazione viene resa obbligatoria la contabilizzazione dei consumi. (22)

Successivamente, il D.M 26 giugno 2015, rappresenta il riferimento riguardante l'efficienza energetica degli edifici verso il target di edifici ad energia netta (quasi) zero e definisce la prestazione energetica come *“quantità annua di energia effettivamente consumata o che si prevede possa essere necessaria per soddisfare con un uso standard dell'immobile, i vari bisogni energetici dell'edificio...”* (23)

A luglio 2016 viene pubblicato il decreto legislativo 141/2016 che integra il precedente 102/2014, e pone la scadenza entro la quale i dispositivi di contabilizzazione e termoregolazione devono essere installati: 31 dicembre 2016. (24)

Successivamente, a gennaio 2017, vengono resi noti i nuovi criteri ambientali minimi per gli edifici pubblici, e tutti gli interventi di riqualificazione energetica riguardanti l'involucro edilizio devono rispettare i valori minimi di trasmittanza termica. (25)

Con il decreto di giugno 2017, considerato che l'efficienza energetica e che il settore dell'edilizia rappresenta un elemento di grandi potenzialità al fine del raggiungimento dell'obiettivo di risparmio energetico del Paese al 2020, viene definito il piano d'azione per l'incremento del numero di edifici a energia quasi zero. (25) Ministero dello sviluppo Economico, dicembre 2016, "PANZEB, Piano d'Azione Nazionale per incrementare gli edifici ad energia quasi zero"

5. CASO STUDIO

Il presente lavoro di tesi ha come obiettivo quello di indagare e sviluppare uno *smart building* in *brownfield*, effettuando cioè, l'ottimizzazione energetica e tecnologica di un edificio già esistente, valutandone infine, i vantaggi sia economici che energetici.

Come modello, verrà considerato un tipico palazzo di Milano degli anni '60, situato nel quartiere di Cesano Boscone, costituito da un edificio a torre di area occupata pari a 3.635,2 m² e volume 12.856,5 m³, con sezione "a stella", di 9 piani e 52 appartamenti.

Nelle seguenti foto è possibile osservare il palazzo considerato, con le sue relative caratteristiche.



Figura 2: prospetto est del Palazzo-Modello



Figura 3: prospetti ovest e sud del Palazzo-Modello



Figura 4:Prospetto sud-est del Palazzo-Modello

Avendo limitate informazioni sulla tipologia di involucro e di stratigrafia, verranno elaborate alcune ipotesi, grazie all'aiuto del progetto *Tabula*.

Durante la prima fase del presente lavoro, la valutazione energetica verrà condotta sull'edificio "originale", considerando le caratteristiche di un tipico palazzo anni '60, non valutando nessun tipo di efficientamento costruttivo ed energetico.

Pertanto, verrà ipotizzata l'essenza di isolamento, di luci a led, gli infissi e i vetri saranno ipotizzati singoli, non saranno presenti dispositivi ed elettrodomestici di classi energetiche elevate (A, A+ ecc.).

Successivamente, verrà condotta un'opera di efficientamento energetico, introducendo i minimi requisiti di risparmio energetico, inserendo dunque

l'isolamento, vetri doppi (e anche tripli), le luci led, verrà sostituito il boiler elettrico per l'acqua calda sanitaria con una caldaia a gas ad alta efficienza.

Conseguentemente alla suddetta, verrà svolta un'analisi economica a dimostrazione che l'efficientamento energetico comporta contemporaneamente un risparmio economico.

Nella fase finale, ottenuto un risparmio in termini monetari, l'edificio verrà *smartizzato*, cioè verranno introdotti tutti quei dispositivi che vengono considerati "smart", ad esempio elettrodomestici controllati da remoto, veneziane che si chiudono in funzione dell'irraggiamento esterno, luci led con dimmer e sistemi di regolazione, tetto verde.

Per ogni step, verranno confrontati i risultati ottenuti, per dimostrare l'effettivo risparmio in termini energetici.

5.1 Ipotesi di Modellazione e Progetto Tabula

Come accennato in precedenza, avendo poche informazioni, in quanto l'edificio è già costruito, ed essendo un palazzo privato abitato, verranno valutate alcune ipotesi.

Ad esempio, nei primi anni '60 l'isolante all'interno delle pareti non era presente. Inoltre, per la stratigrafia, di cui non abbiamo informazioni, verrà considerato un database dettagliato raccolto all'interno di un progetto chiamato *Tabula*.

Il progetto *Tabula* (*Typology Approach for BUiLding stock energy Assessment, 2009-2012*), finanziato dal programma europeo *Intelligent Energy Europe*, è un progetto rivolto a realizzare una struttura omogenea delle diverse tipologie edilizie residenziali europee. (26)

Tale progetto raggruppa un insieme di edifici residenziali modello, con caratteristiche energetiche tipiche. Il database è suddiviso per tipologia di edificio e per anno di costruzione.

Ogni *edificio-tipo* viene utilizzato per rendere nota la prestazione energetica e per rendere noto il potenziale risparmio energetico raggiungibile attraverso interventi di riqualificazione dell'involucro edilizio e degli impianti termici. (27)

All'interno del *Webtool* del progetto Tabula è possibile scegliere la zona climatica, la classe di epoca di costruzione e la dimensione edilizia. Tutto ciò è rappresentato attraverso una matrice: la "Matrice della Tipologia Edilizia". Ogni cella all'interno della matrice racchiude un "edificio-tipo" da considerarsi rappresentativo per quella specifica zona climatica. (27)

Il territorio nazionale è stato suddiviso in sei zone climatiche, secondo il D.P.R. n. 412/1991, zona A, zona B, zona C, zona D, zona E e zona F, in funzione del numero dei gradi-giorno (parametro utilizzato per il calcolo del fabbisogno energetico di un edificio), e per quanto riguarda la classificazione della tipologia edilizia sono state individuate tre aree climatiche:

1. *Area climatica media*, coincidente con la zona climatica "E",
2. *Area climatica alpina*, coincidente con la zona climatica "F",
3. *Area climatica mediterranea-costiera*, coincidente con le zone "A", "B", "C", "D".

E successivamente sono state individuate otto classi di epoca di costruzione. (26)

Nella figura successiva viene raffigurata la matrice dei differenti edifici-tipo, suddivisi per classe di costruzione:

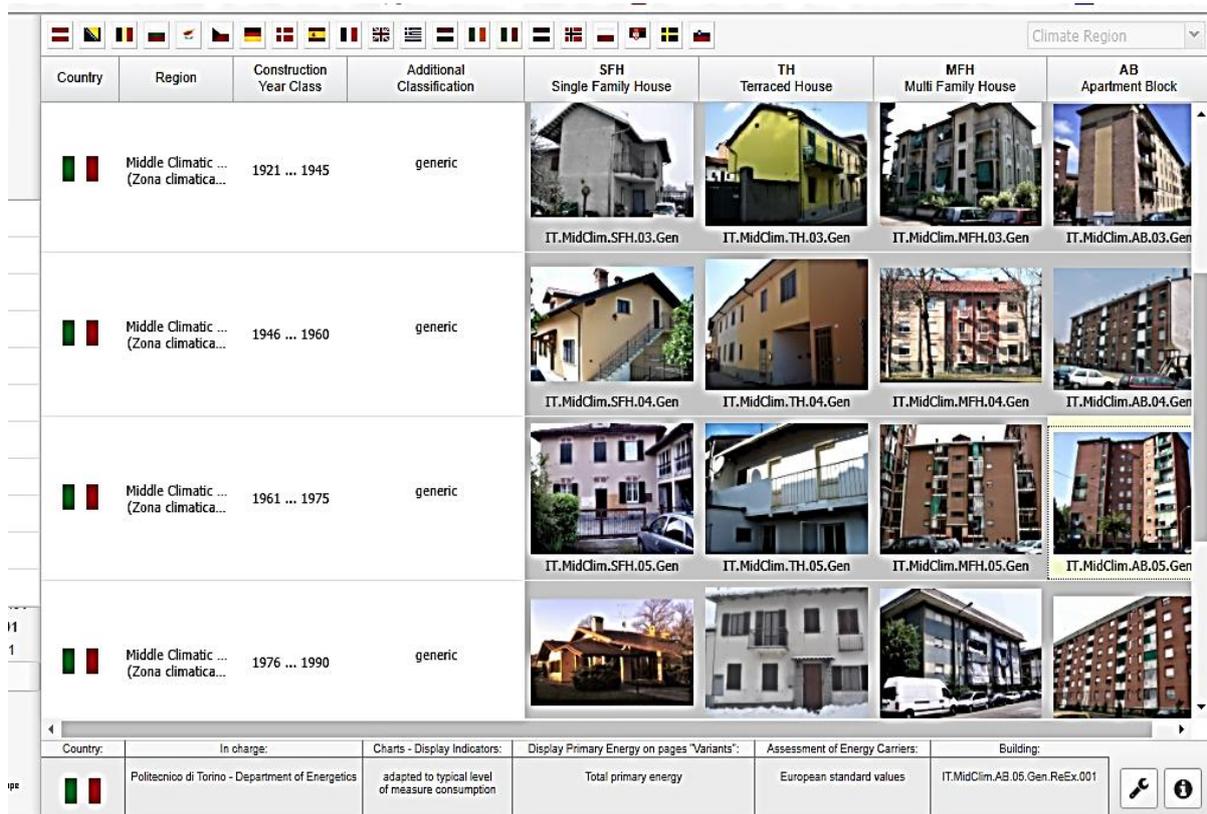


Figura 5:matrice differenti edifici-tipo (28)

Come è possibile vedere, è facile individuare l'edificio-tipo per diversa dimensione e anno di costruzione.

Per il nostro caso studio, viene scelta la zona climatica media (di cui fa parte la Lombardia), la classe di costruzione 1961-1975 e gli edifici a "blocchi di appartamenti".

Scelta la tipologia di edificio è possibile risalire, attraverso un'ulteriore schermata, al tipo di involucro opaco, al periodo di diffusione e al valore di trasmittanza.

Di seguito, l'immagine esplicativa dei precedenti valori.



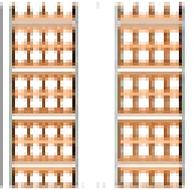
Figura 6:immagine esplicativa dell'edificio-modello scelto (28)

Si può notare, come le costruzioni italiane siano tipicamente massive, i materiali utilizzati siano prevalentemente laterizi pieni o forati e calcestruzzo, e il periodo di costruzione è fondamentale per la definizione del livello di isolamento termico.

Per quanto riguarda un palazzo degli anni '60 con blocchi di appartamenti si può facilmente dedurre che prima del 1976 non è presente materiale isolante all'interno delle strutture.

Di seguito, le caratteristiche del palazzo scelto:

Tabella 3:caratteristiche del palazzo preso in esame (28)

| | | Existing state |
|--------|---|--|
| Roof 2 | surface area | 358.2m ² |
| | type of construction / refurbishment measure | Ceiling with reinforced brick-concrete slab Solaio latero-cementizio |
| | picture |  |
| | U-value | 1.10 W/(m ² K) |
| Wall 1 | surface area | 2239.0m ² |
| | type of construction / refurbishment measure | Hollow wall brick masonry (40 cm) Muratura a cassa-vuota con mattoni forati (40 cm) |
| | picture |  |
| | U-value | 1.10 W/(m ² K) |

| | | |
|----------|--|--|
| Wall 2 | surface area | 1033.0m ² |
| | type of construction / refurbishment measure | Hollow brick masonry (40 cm) Muratura in mattoni forati (40 cm) |
| | picture |  |
| | U-value | 0.91 W/(m ² K) |
| Floor 1 | surface area | 299.2m ² |
| | type of construction / refurbishment measure | Floor with reinforced brick-concrete slab Solai latero-cementizio |
| | picture |  |
| U-value | 1.30 W/(m ² K) | |
| Floor 2 | surface area | 59.0m ² |
| | type of construction / refurbishment measure | Floor with reinforced brick-concrete slab Solai latero-cementizio |
| | picture |  |
| U-value | 0.54 W/(m ² K) | |
| Window 1 | surface area | 320.7m ² |
| | type of construction / refurbishment measure | Single glass, wood frame Vetro singolo, telai in legno |
| | picture |  |
| U-value | 4.50 W/(m ² K) | |

Come è possibile vedere, l'edificio-tipo scelto possiede pareti in mattoni forati, solai in latero-cementizio e vetri singoli con telai in legno.

Il nostro caso studio, essendo un palazzo di 9 piani, con 52 appartamenti, costruito all'inizio degli anni '60, può essere ipotizzato simile all'edificio-tipo soprastante.

Dunque, per quanto riguarda la stratigrafia, fondamentale per il valore della trasmittanza che verrà in seguito inserita all'interno del software, è stato inizialmente ipotizzato:

- Pavimentazioni: intonaco, cemento, solaio latero-cementizio, calcestruzzo, massetto, piastrelle (per un totale di circa 35 cm).
- Pareti: intonaco, mattone forato, strato di aria, mattone forato, intonaco (per un totale di circa 40 cm).
- Copertura: intonaco, cemento, solaio latero-cementizio, calcestruzzo, malta, guaina bituminosa, massetto, mattonelle (per un totale di circa 40 cm).

Successivamente, durante la fase di efficientamento, verrà inserito l'isolante, e i vetri saranno inseriti doppi con telai in alluminio.

6. DESIGN BUILDER

Il software utilizzato per la simulazione energetica del modello è il software Design Builder, rilasciato dall'azienda britannica Design Builder Software Ltd.

La prima versione di tale software è stata rilasciata come interfaccia grafica di EnergyPlus, importante motore di calcolo per la simulazione in regime dinamico di edifici, creato dal Dipartimento dell'Energia americano (DOE). Anche Design Builder utilizza le potenzialità di Energy Plus per effettuare le simulazioni, garantendo però un approccio più "user friendly".

Grazie a Design Builder è possibile modellare l'edificio in 3D o importarlo in formato .gbXML, definire in modo dettagliato le caratteristiche dell'edificio, calcolare i fabbisogni energetici e i guadagni termici, valutare gli aspetti economici e confrontare varie soluzioni progettuali.

Dopo aver creato il modello 3D, l'utente può settare le diverse impostazioni relative ai vari aspetti dell'edificio, per esempio aspetti tecnologici, impiantistici, i carichi interni, gli scenari di occupazione, il vestiario degli occupanti e numerosi altri parametri.

Il primo step, successivo alla creazione del 3D, è l'impostazione della località: attraverso il comando "Località" viene impostata la località, le coordinate geografiche e alcune caratteristiche del luogo, come l'esposizione al vento e le temperature mensili.

Il database di dati climatici, messo a disposizione, consente di effettuare simulazioni in ogni giorno dell'anno, ed è inoltre possibile importare nuovi file climatici o modificare quelli preesistenti.

Infine, gli output emessi dal software possono essere visualizzati in forma grafica o tabellare ed è possibile leggere i parametri di comfort ambientale, consumi energetici, diverse temperature come quella ambiente e quella esterna.

6.1 La geometria

Con Design Builder, come citato in precedenza, è possibile realizzare il 3D dell'edificio o importare un modello BIM già completato, e di assegnargli caratteristiche ben precise come dimensioni e materiali, è possibile anche assegnargli impianti termici di diverse tipologie.

L'edificio viene rappresentato attraverso "blocchi" che riproducono uno spazio tridimensionale equivalente ad una stanza o ad una zona dell'edificio, e questi ultimi vengono rappresentati in "zone termiche", ossia zone con determinate caratteristiche termiche.

Nel nostro caso, il modello è stato realizzato tramite SketchUp, software di facile utilizzo per la realizzazione di 3D, e con l'utilizzo del plug in Open Studio, che realizza direttamente le zone termiche, che poi vengono importate su DB.

Di seguito, è possibile osservare la pianta dell'edificio modello, costituita da un palazzo a sezione a "stella", di nove piani, e l'interfaccia di SketchUp, con il relativo 3D del palazzo realizzato con OpenStudio.

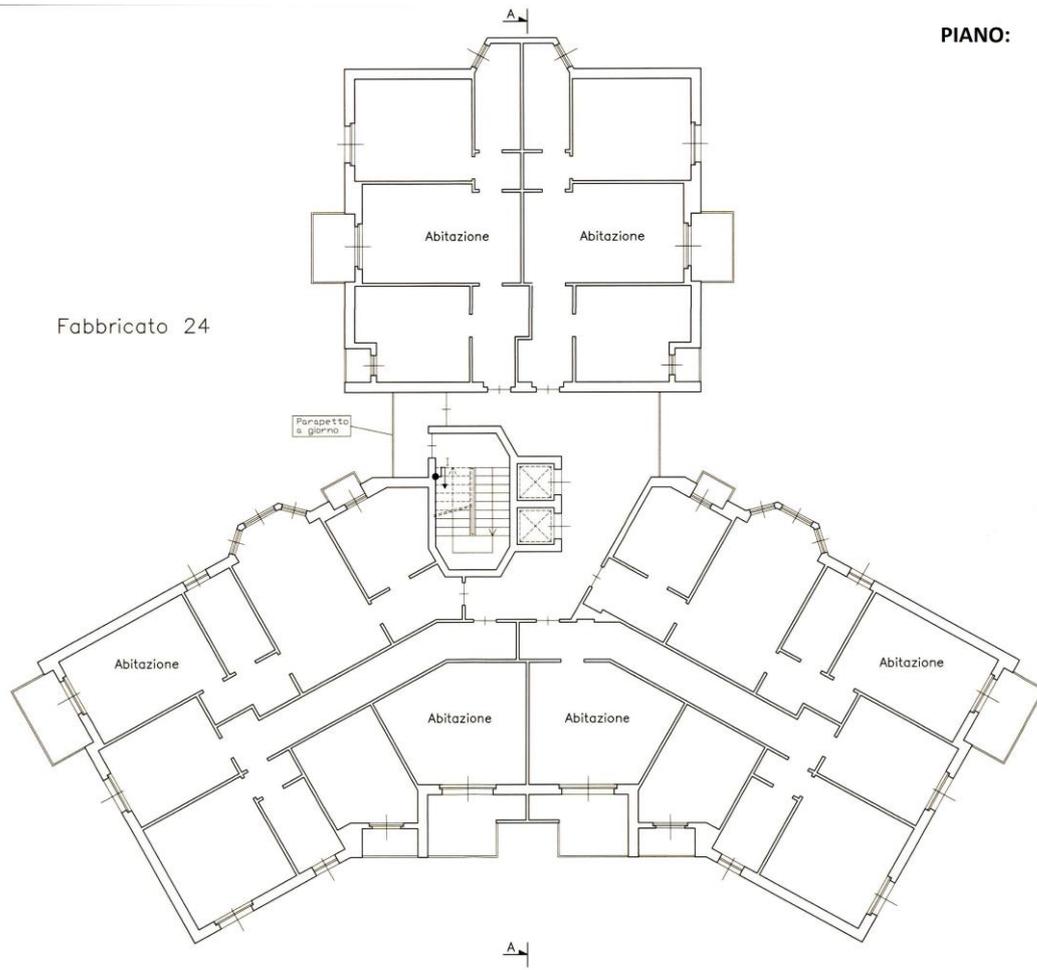


Figura 7: pianta dell'edificio

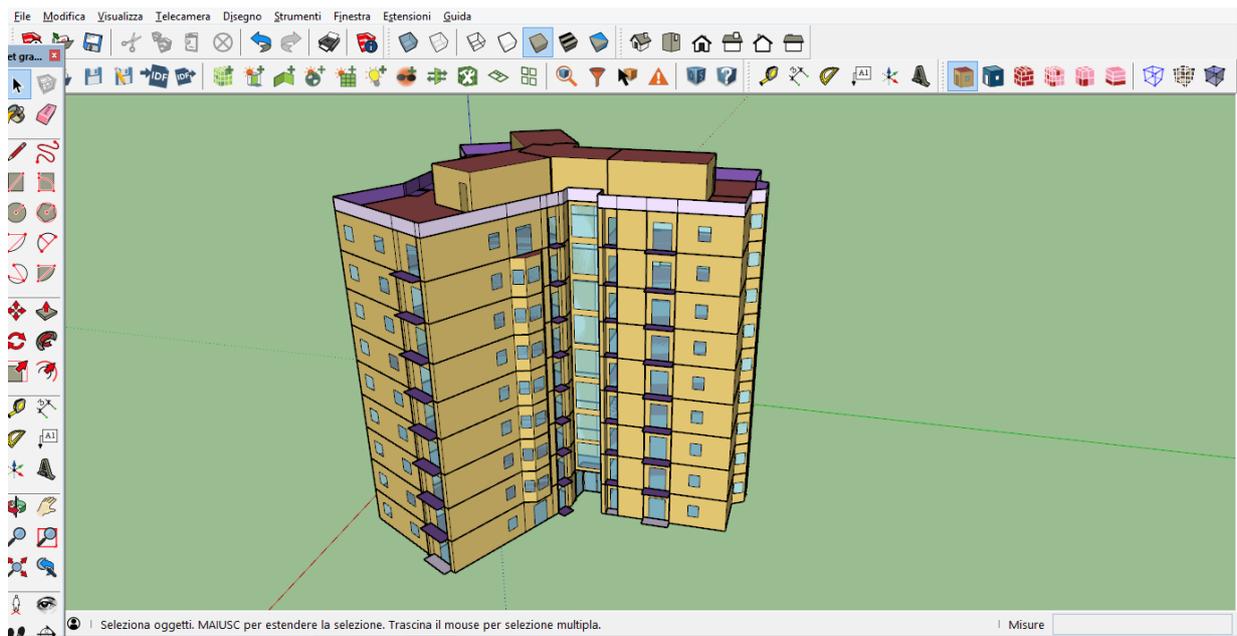


Figura 8: interfaccia grafica di SketchUp

Come spiegato in precedenza, nella prima fase del presente lavoro di tesi, la geometria dell'edificio sarà molto semplice, realizzata con le caratteristiche di un tipico palazzo degli anni '60.

È possibile osservare il render del modello importato su DB nella figura seguente:

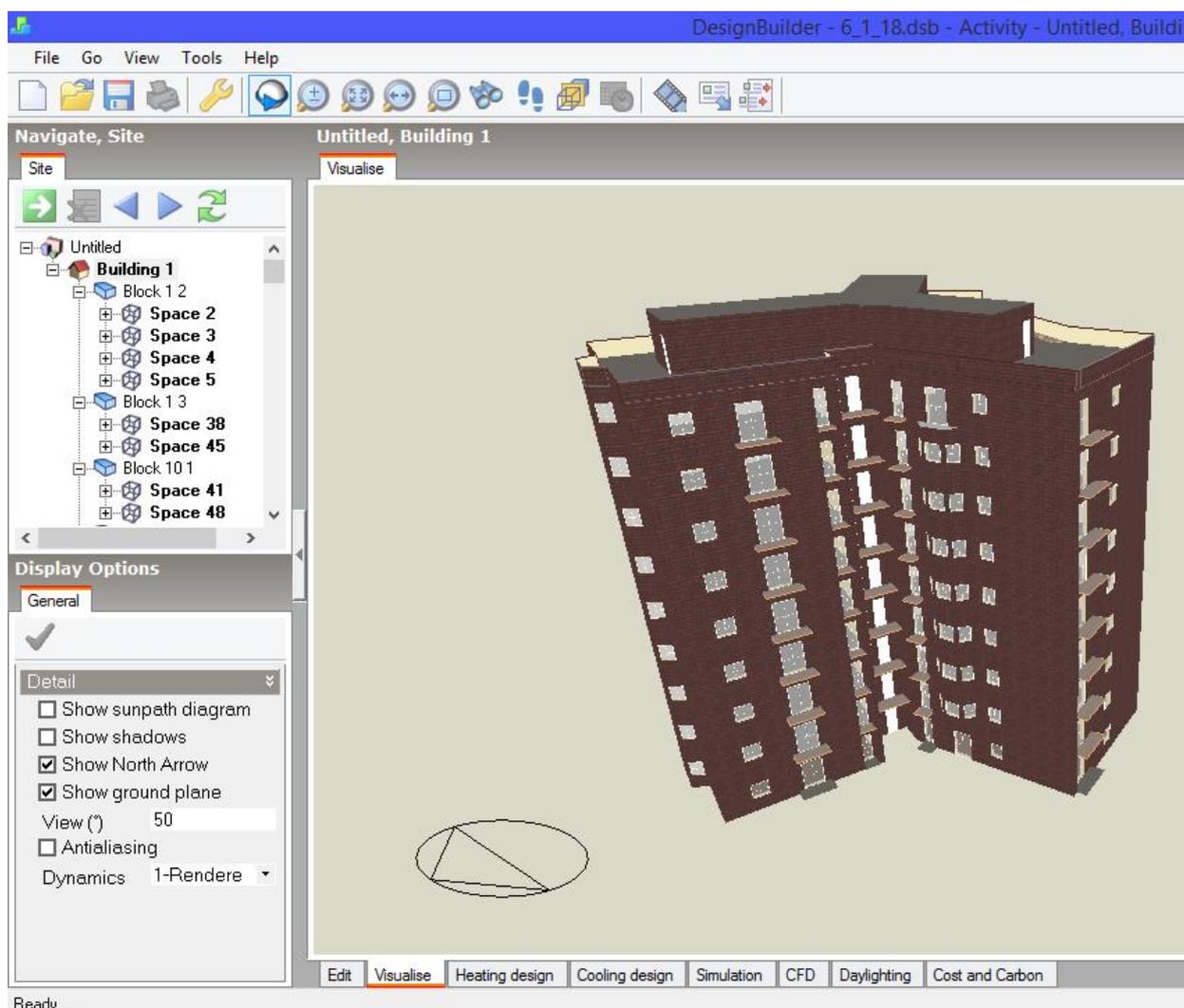


Figura 9: Render del Palazzo

6.2 Gestione dell'edificio

Una volta definita la geometria del modello, attraverso i vari pannelli "attività", "costruzione", "aperture", "HVAC" è possibile impostare i parametri necessari per la modellazione.

Attraverso la schermata “attività”, possiamo settare dettagliatamente l’indice di affollamento, il tasso metabolico degli occupanti, il vestiario, le temperature di set point, il tasso di ventilazione, le diverse tipologie di apparecchiature installate ecc.

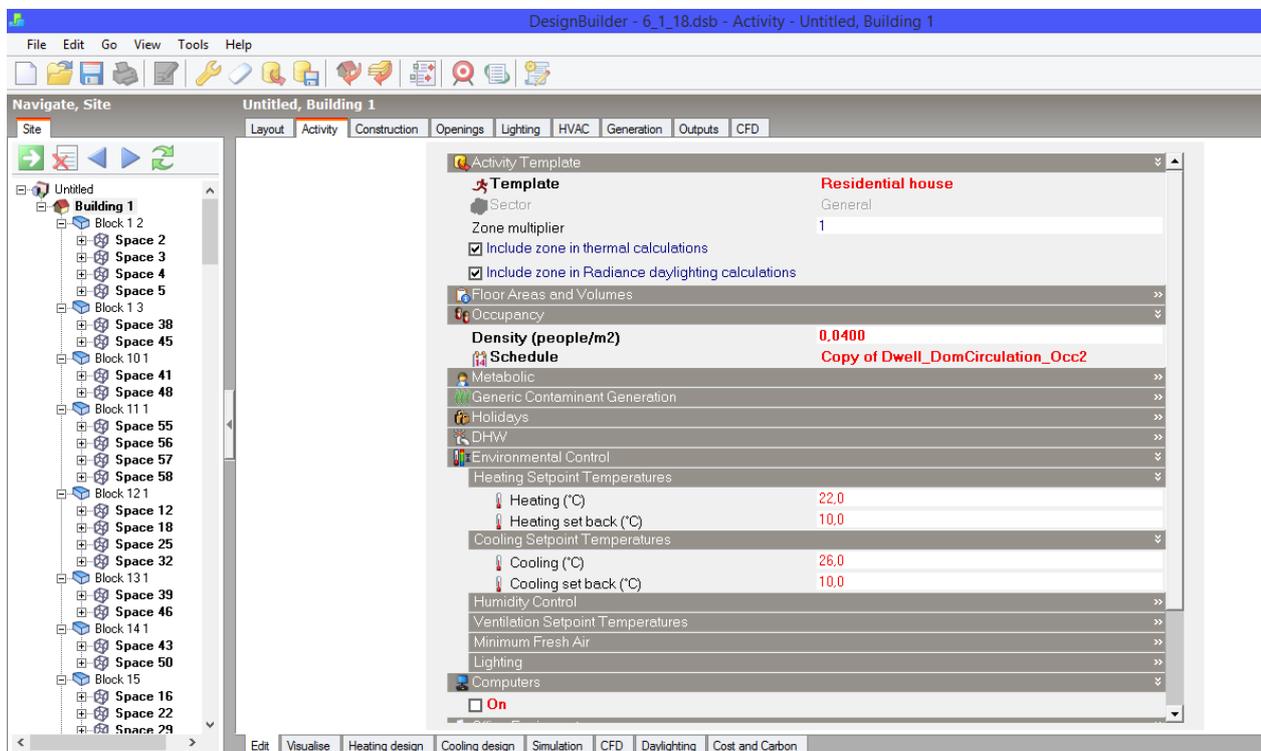


Figura 10: schermata caratterizzazione attività e schedules

Inoltre, attraverso gli “schedules” è possibile ipotizzare periodi temporali durante i quali vi è la presenza degli occupanti, o durante i quali le apparecchiature si accendono o spengono, oppure è possibile regolare l’accensione del riscaldamento o l’apertura delle finestre ecc.

6.3 Superfici Opache

Attraverso il pannello “costruzione”, è possibile gestire tutte le caratteristiche dei componenti opachi, come pareti esterne e interne, soffitti, pavimenti e coperture. È possibile assegnare diversi tipi di materiali, e personalizzare la stratigrafia dell’edificio scegliendo tra i tanti materiali presenti del database di Design Builder e assegnare gli spessori delle superfici. In questa sezione vengono inseriti gli spessori e i materiali di cui discusso in precedenza.

In tal modo, il software calcola autonomamente tutti i parametri necessari per la simulazione come la trasmittanza termica, i coefficienti di assorbimento, la permeabilità al vapore.

Inoltre, è possibile applicare diverse soluzioni tecnologiche come il “tetto verde”, o diversi tipi di isolante. Nel nostro caso, per le prime simulazioni ipotizziamo un edificio degli anni '60 privo di qualsiasi isolamento, successivamente verranno applicate modifiche all'involucro in modo tale da migliorare l'efficienza energetica e ridurre i consumi.

6.4 Aperture

Allo stesso modo, è possibile definire e caratterizzare le superfici trasparenti attraverso il pannello “aperture”. È possibile scegliere tra le varie tecnologie presenti nel database o modificarle, definire le dimensioni delle aperture e dei telai.

Nella prima fase verranno inseriti singoli vetri con telai in legno, nella seconda fase vetri doppi con telai in alluminio, nella terza fase verranno “smartizzati” aggiungendo le veneziane che si chiudono in funzione dell'irraggiamento.

6.5 Illuminazione

All'interno del pannello illuminazione, è possibile settare la quantità di luce e le apparecchiature presenti nell'edificio, la potenza, e attraverso lo “schedule” è possibile settare le ore di funzionamento.

Anche qui, è stato settato il modello in modo tale che le luci e le apparecchiature vengano accese solo in presenza di occupanti, dunque dalle 19 alle 9 del mattino.

6.6 HVAC

Grazie alla scheda “HVAC” (heating ventilation air conditioning) è possibile impostare il funzionamento e le caratteristiche dell'impianto di riscaldamento, ventilazione e raffrescamento (se presente). Nel nostro modello è stato ipotizzato

un impianto di riscaldamento a caldaia a gas centralizzata, ventilazione naturale e nessun impianto di raffrescamento.

Tale impianto, è stato settato in modo da accendersi nelle ore notturne più fredde. Inoltre, la produzione di acqua calda avviene attraverso boiler elettrici che vengono settati in modo da essere accesi solo qualche ora notturna, in modo tale da utilizzare energia elettrica a basso costo.

6.7 Simulazioni

Dopo aver definito tutte le caratteristiche dell'edificio e aver determinato tutti i parametri necessari nei diversi pannelli, è possibile lanciare le simulazioni e ottenere in tal modo i risultati richiesti.

Il software restituisce, in intervalli temporali, le variabili che influenzano il comportamento energetico dell'edificio.

È possibile, attraverso il pannello "simulazioni" impostare il periodo di tempo per la simulazione, il numero di step di calcolo all'ora, e le impostazioni relative alle ombre e riflessioni.

Gli output generati da Design Builder, che possono essere visualizzati sia graficamente che in tabelle, sono gli apporti interni di calore, di illuminazione, di computers e di altre apparecchiature, le temperature, i consumi energetici.

È possibile infine, calcolare i costi di costruzione e le emissioni di CO₂ dovute alle tecnologie utilizzate.

Le simulazioni realizzate da DB sono in regime dinamico, ciò significa che il software analizza contemporaneamente più variabili, ad esempio le condizioni climatiche e ambientali, le caratteristiche termo-fisiche dell'edificio, restituendo risultati molto più affidabili rispetto ad altri tipi di programmi.

È possibile inoltre, realizzare i progetti di impianti di climatizzazione considerando la durata stagionale di riscaldamento, che tiene in considerazione la zona climatica e i gradi giorno della località.

Secondo la norma tecnica UNI TS 11300-1 la durata stagionale, in base alla zona climatica, è la seguente riportata in tabella:

| Zona Climatica | Gradi Giorno | Periodo di riscaldamento | |
|-----------------------|---------------------|---------------------------------|------------------------|
| A | fino a 600 | 1 Dicembre - 15 Marzo | 6 ore al giorno |
| B | da 600 a 900 | 1 Dicembre – 31 Marzo | 8 ore al giorno |
| C | da 900 a 1400 | 15 Novembre – 15 Marzo | 10 ore al giorno |
| D | da 1400 a 2100 | 1 Novembre – 15 Aprile | 12 ore al giorno |
| E | da 2100 a 3000 | 15 Ottobre – 15 Aprile | 14 ore al giorno |
| F | oltre 3000 | nessuna limitazione | |

Tabella 4:Tabella durata stagionale e gradi giorno [30]

7. IMPOSTAZIONI DEL MODELLO E SUCCESSIVI RISULTATI DELLE SIMULAZIONI

7.1 Impostazioni del Modello su Design Builder

Nella fase preliminare di tale progetto, il palazzo è considerato privo di qualsiasi efficientamento strutturale ed energetico, con le caratteristiche tipiche di un palazzo degli anni '60.

Dopo aver importato il modello da SketchUp a Design Builder, la fase iniziale è quella di definizione del sito e delle sue caratteristiche.

Dalla schermata successiva, è possibile osservare il primo passaggio: impostazione della località e di tutte le sue caratteristiche.

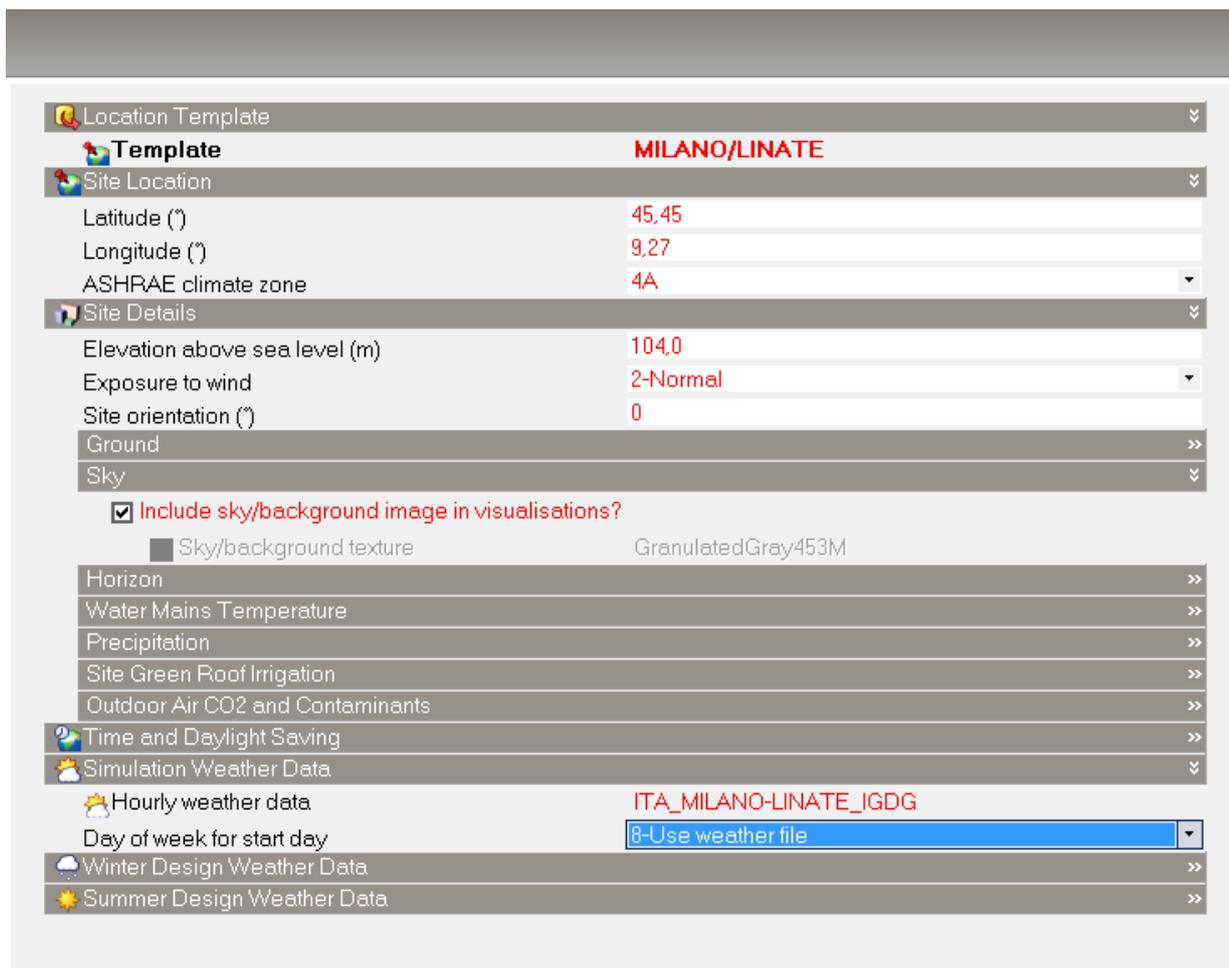


Figura 11: schermata località e sue caratteristiche

Successivamente, è necessario definire l'attività a cui è destinato il modello in esame, gli schedules, le caratteristiche strutturali e impiantistiche.

Nel nostro caso, il modello rappresenta un edificio residenziale, per l'esattezza un condominio costituito da piccoli/grandi bilocali, si è ipotizzata la presenza in ogni appartamento di 3-4 persone dalle 19 fino al mattino alle 9, ora in cui solitamente si va al lavoro.

Inoltre, viene considerata la norma UNI 10339, secondo la quale per mantenere livelli di benessere accettabili per le persone, è necessaria un'immissione di aria esterna pari, almeno, a determinati valori, in funzione della destinazione d'uso dei locali. [39]

La tabella sottostante, descrive la norma suddetta e considera la massima densità di persone necessaria per mantenere livelli accettabili di confort interno.

Tabella 5:norma UNI 10399 [39]

| Classificazione degli edifici per categorie | ns (persone / m ²) |
|---|--------------------------------|
| EDIFICI ADIBITI A RESIDENZA E ASSIMILABILI | |
| RESIDENZE A CARATTERE CONTINUATIVO | |
| Abitazioni civili: | |
| soggiorni, camere da letto | 0,04 |
| -omissis- | |
| EDIFICI PER UFFICI E ASSIMILABILI | |
| uffici singoli | 0,06 |
| uffici open space | 0,12 |
| locali riunione | 0,6 |
| centri elaborazione dati | 0,08 |
| -omissis- | |
| ATTIVITA' COMMERCIALI O ASSIMILABILI | |
| grandi magazzini | 0,25 |
| negozi o reparti di grandi magazzini: | |
| alimentari, abbigliamento, calzature, mobili, ottici, fioristi, fotografi | 0,1 |
| barbieri, saloni di bellezza, lavasecco, farmacie ,zone pubblico banche | 0,2 |
| quartieri fieristici | 0,2 |
| -omissis- | |

Come è possibile notare, la densità di persone all'interno di abitazioni civili è pari a 0,04 persone a m². Tale valore, è quello inserito su DB.

Per quanto riguarda i ricambi d'aria, per gli edifici residenziali, si considera convenzionalmente un valore compreso tra 0,3-0,5 vol/h. [40]

Il valore scelto e inserito su DB è di 0,3 vol/h.

Oltre alla densità di persone e ai ricambi d'aria, è possibile inserire il tasso metabolico, l'attività che svolgono gli individui presenti all'interno dell'edificio e il loro vestiario.

Nel presente caso, è stato inserito il tasso metabolico pari a un valore medio di 0,9 (in quanto per gli uomini è uguale a 1, per le donne è uguale a 0,85 e per i bambini

è uguale a 0,75), l'attività svolta è stata impostata uguale a "standing relaxed", e il vestiario è stato impostato uguale a 1 clo per quello invernale e 0,50 per quello estivo.

Nella figura seguente è possibile osservare la schermata principale, con le suddette impostazioni.

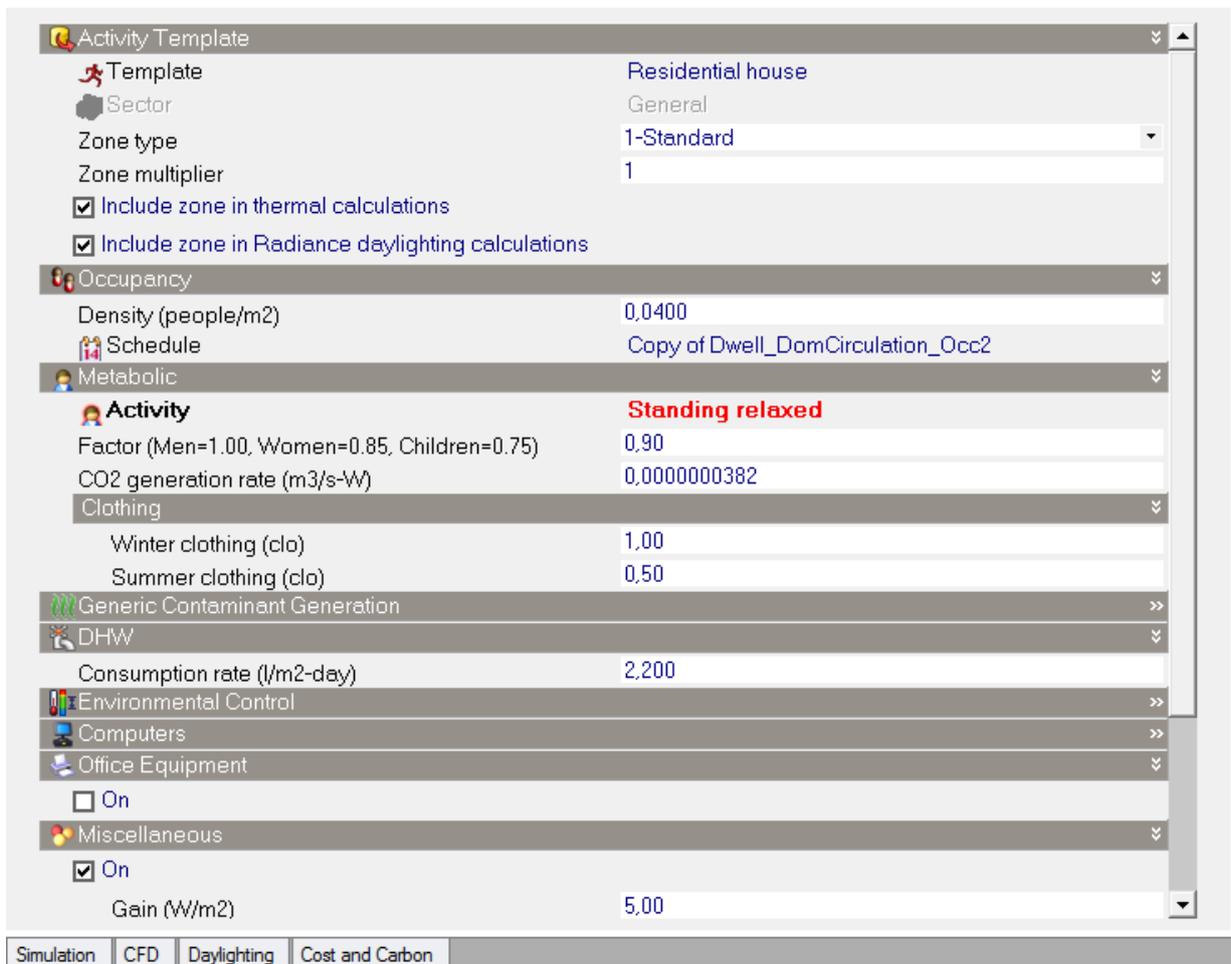


Figura 12: schermata principali impostazioni

I principali schedules sono stati impostati considerando la stessa presenza in casa.

Per l'illuminazione, lo schedule è stato settato in modo tale da essere considerato dalle 19 a mezzanotte, e dalle 6 del mattino alle 9. Inoltre, dalla schermata *lighting*, è stata impostata la tipologia di illuminazione e la densità di potenza in W/m^2 : lampade ad incandescenza, a bassa efficienza, sospese e una densità di potenza pari a $5 W/m^2$.

Dalla schermata *Openings* sono state caratterizzate le aperture: come sopraccitato, sono stati inseriti vetri singoli con telaio in legno. Successivamente è possibile valutare le caratteristiche degli infissi.

| Calculated Values | |
|---|-------|
| Total solar transmission (SHGC) | 0,810 |
| Direct solar transmission | 0,775 |
| Light transmission | 0,881 |
| U-value (ISO 10292/ EN 673) (W/m ² -K) | 6,121 |
| U-Value (ISO 15099 / NFRC) (W/m ² -K) | 6,121 |

Figura 13: caratteristiche infissi a vetro singolo

La produzione di acqua calda sanitaria è affidata a boiler elettrici, situati all'interno del bagno di ogni appartamento. Dunque, per usufruire della fascia oraria il cui costo dell'energia elettrica è più basso, e per tenere in considerazione la presenza in casa, lo schedule per DHW è stato settato dalle 19 alle 22.

Il riscaldamento dell'intero edificio è affidato ad una caldaia centralizzata a gas naturale. Dunque, lo schedule "riscaldamento" è stato impostato considerando le ore più fredde, la presenza in casa, e la norma tecnica UNI TS 11300 (tabella 4 precedente) secondo la quale, nella zona climatica E, i riscaldamenti vengono accesi 14 ore al giorno dal 15 Ottobre al 15 Aprile.

Attraverso la scheda "costruzioni" è stata impostata la stratigrafia dell'involucro. Come illustrato precedentemente nel capitolo *Caso Studio-Ipotesi di modellazione e Progetto Tabula*, la stratigrafia è stata ipotizzata prima di qualsiasi tipo di isolamento e realizzata come:

- Pavimentazioni: intonaco e cemento di circa 25 mm, solaio latero-cementizio di 20 cm, calcestruzzo di 5 cm, massetto di circa 7 cm, piastrelle di 1 cm, per un totale di circa 35 cm.

È possibile osservare, nella figura seguente, lo schema delle pavimentazioni, con le relative caratteristiche.

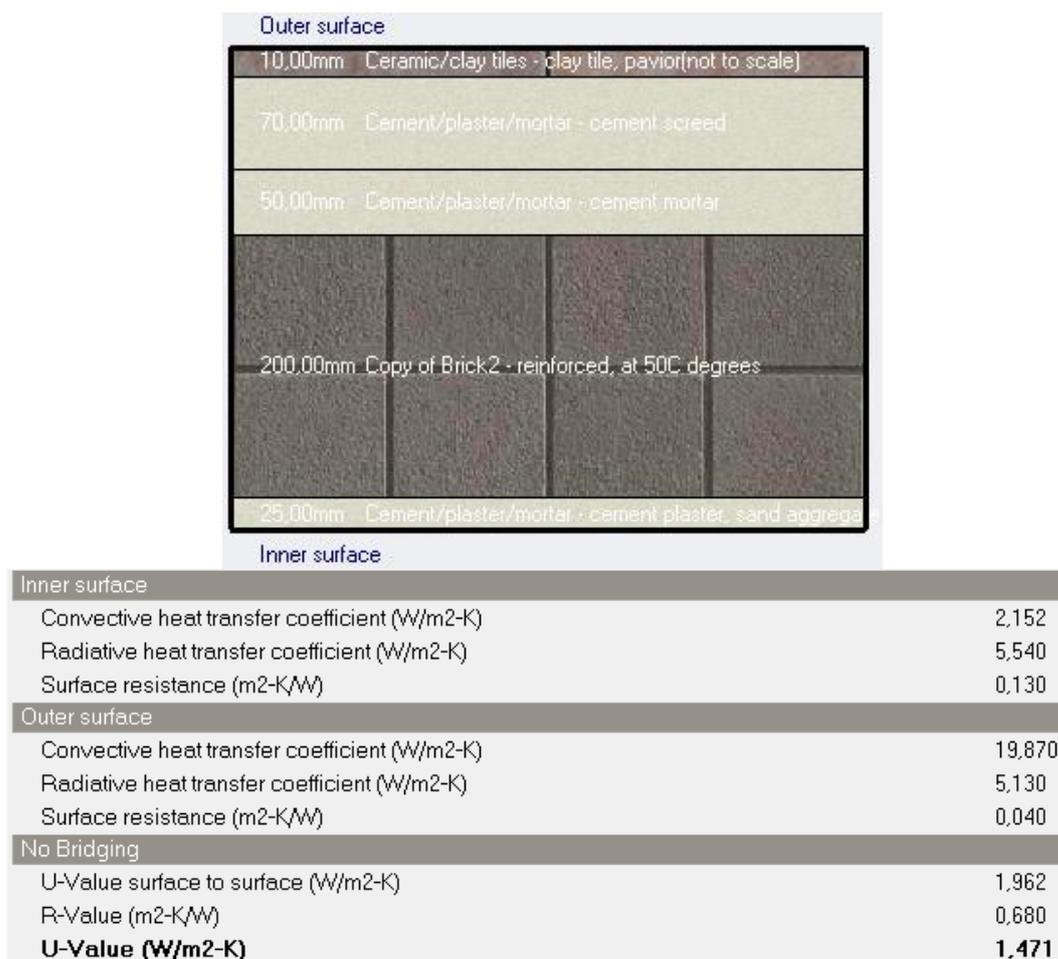


Figura 14: schema pavimentazioni e sua caratteristiche

Inoltre, con Design Builder è possibile studiare la condensazione interstiziale, con il diagramma di Glaser.

Il programma infatti, restituisce un report completo dell'analisi effettuata, fornendo il diagramma completo e una tabella con i risultati, che è possibile osservare di seguito:

Tabella 6: Risultati dell'analisi effettuata da DB sulla Condensazione interstiziale

| |
|--|
| Condensation Analysis Report |
| Interstitial Condensation |
| Interstitial condensation occurs at one or more interfaces, but all condensate is predicted to evaporate during the summer months. |
| The risk of degradation of building materials and deterioration of thermal performance as a consequence of the calculated maximum amount of moisture shall be considered according to regulatory requirements and other guidance in product standards. |
| Condensation Interfaces |
| Number of condensation interfaces: 2 |
| Distance of condensation interface 1 from the external surface: 10mm |
| Distance of condensation interface 2 from the external surface: 80mm |
| Surface Condensation |
| Thermal quality Good. Mould growth unlikely. |

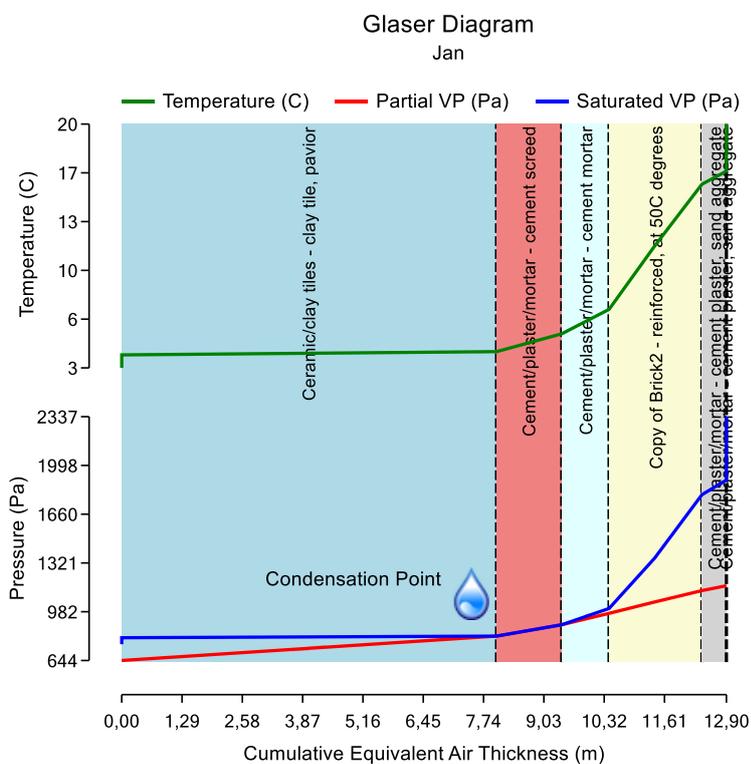


Figura 15: Diagramma di Glaser

Come è possibile osservare, tra il primo e il secondo layer è possibile il verificarsi di un fenomeno di condensa. Design Builder, suggerisce però, che la condensa formatasi evaporerà nei mesi estivi.

- Pareti esterne: intonaco di 2 mm, mattone forato di 12 cm, strato di aria di 15 cm, mattone forato di 12 cm, intonaco di 2 mm, per un totale di circa 40 cm.

È possibile osservare, nella figura seguente, lo schema delle pareti esterne, con le relative caratteristiche.

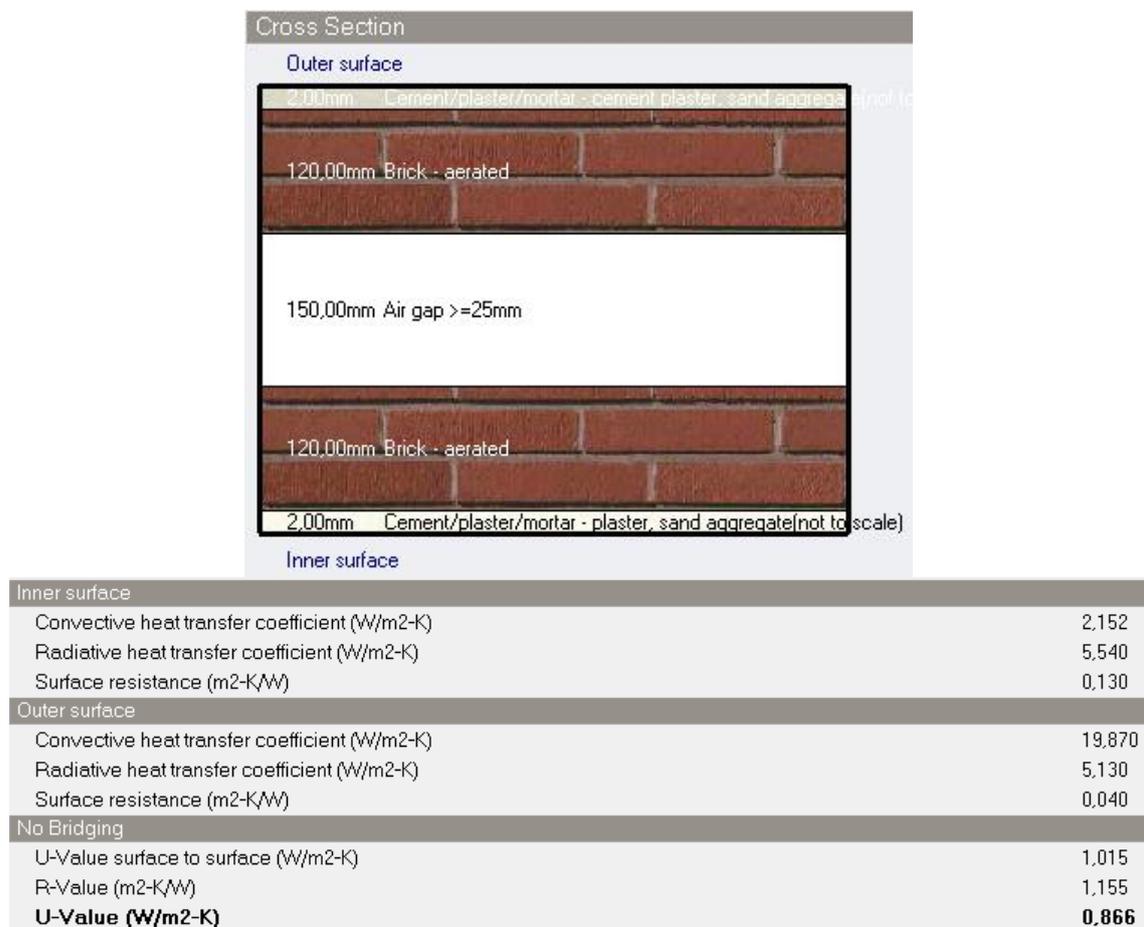


Figura 16: schema pareti esterne e sue caratteristiche

Come nel caso precedente, è possibile osservare il diagramma di Glaser e la tabella riassuntiva:

Tabella 7: Risultati dell'analisi effettuata da DB sulla Condensazione interstiziale

| |
|--|
| Condensation Analysis Report |
| Interstitial Condensation |
| Structure is free of condensation. |
| Condensation Interfaces |
| Number of condensation interfaces: 0 |
| Surface Condensation |
| Thermal quality Good. Mould growth unlikely. |

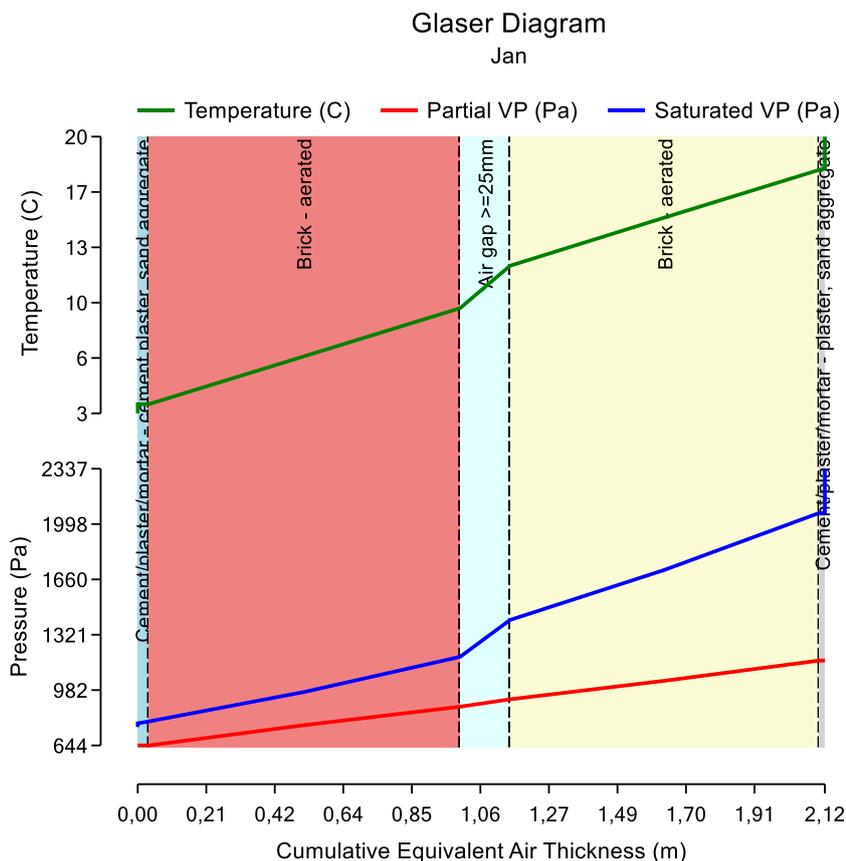


Figura 17: Diagramma di Galser per pareti esterne

Dal soprastante diagramma è possibile notare come all'interno della stratigrafia delle pareti esterne non si verificherà formazione di condensa.

- Copertura: intonaco di circa 2,5 cm, cemento e solaio latero-cementizio di circa 20 cm, calcestruzzo e malta di circa 5 cm, guaina bituminosa di circa 0,5 cm, massetto di circa 10 cm, mattonelle di 2 cm, per un totale di circa 40 cm.

È possibile osservare, nella figura seguente, lo schema delle coperture, con le relative caratteristiche.

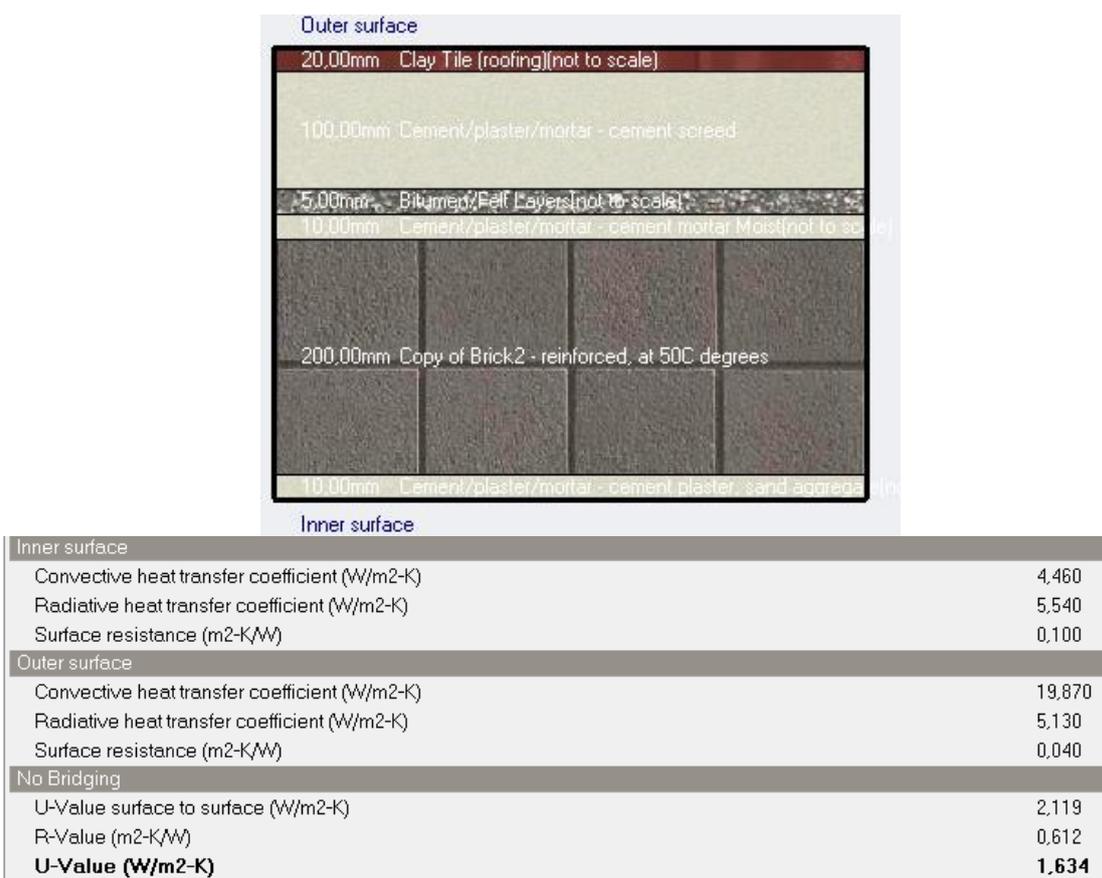


Figura 18: schema coperture e sue caratteristiche

Ancora una volta, è possibile osservare il diagramma di Glaser e la tabella riassuntiva dell'analisi di condensazione effettuata da DB:

Tabella 8: Risultati dell'analisi effettuata da DB sulla Condensazione interstiziale

| |
|--|
| Condensation Analysis Report |
| Interstitial Condensation |
| Interstitial condensation occurs at one or more interfaces, but all condensate is predicted to evaporate during the summer months. |
| The risk of degradation of building materials and deterioration of thermal performance as a consequence of the calculated maximum amount of moisture shall be considered according to regulatory requirements and other guidance in product standards. |
| Condensation Interfaces |
| Number of condensation interfaces: 2 |
| Distance of condensation interface 1 from the external surface: 125mm |
| Distance of condensation interface 2 from the external surface: 135mm |
| Surface Condensation |
| Thermal quality Good. Mould growth unlikely. |

Glaser Diagram

Jan

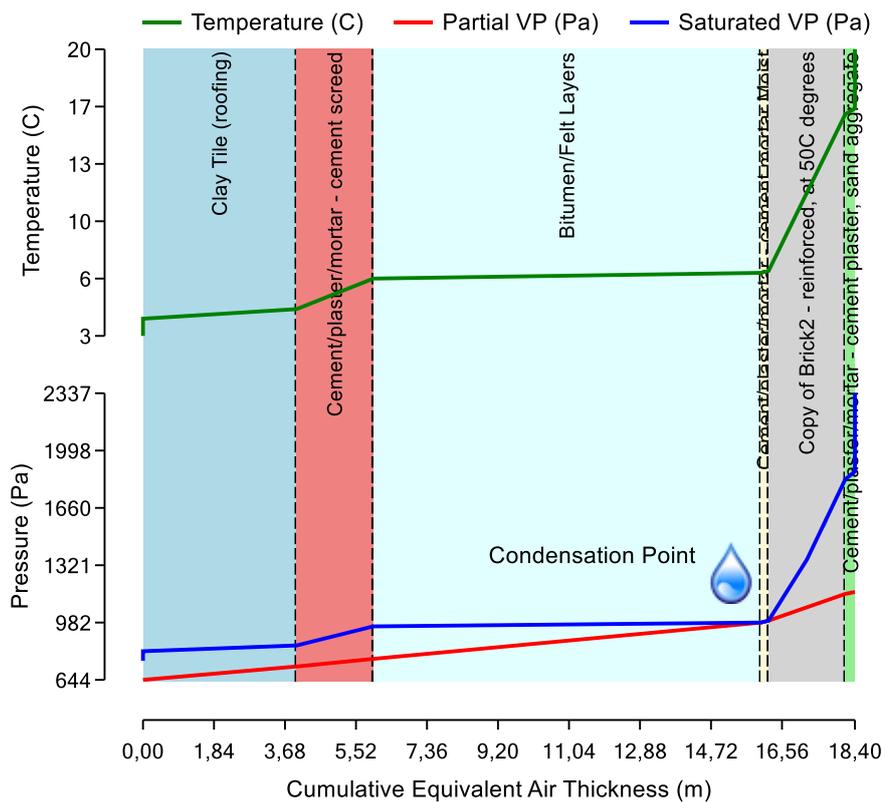


Figura 19: Diagramma di Glaser per le coperture

Anche all'interno della copertura, è possibile la formazione di condensa, ma Design Builder, suggerisce ugualmente al caso precedente, la sua evaporazione durante i mesi estivi.

7.2 Risultati delle Simulazioni

Come descritto precedentemente, dopo aver impostato tutte le caratteristiche necessarie per la descrizione del modello e del suo comportamento termodinamico, Design Builder, attraverso simulazioni in regime dinamico, restituisce gli apporti energetici di calore, illuminazione, acqua calda sanitaria, confort ambientale ecc.

È possibile decidere il periodo temporale di cui si vuole effettuare la simulazione. Nel presente caso, è stata effettuata una simulazione sui 365 giorni dell'anno. Per semplicità grafica però, tutti gli andamenti verranno mostrati nei giorni 13, 14 e 15 di gennaio e 13, 14 e 15 di luglio. Verrà mostrato anche l'andamento dell'apporto energetico per il riscaldamento per tutta la stagione, che secondo la norma UNI TS 11300-1, risulta essere dal 15 ottobre al 15 aprile.

Il software, inoltre, fornisce gli andamenti delle caratteristiche ambientali come temperature, velocità del vento, pressione e radiazione solare.

È possibile osservare nelle figure seguenti l'andamento delle temperature, la velocità del vento, e la radiazione solare:

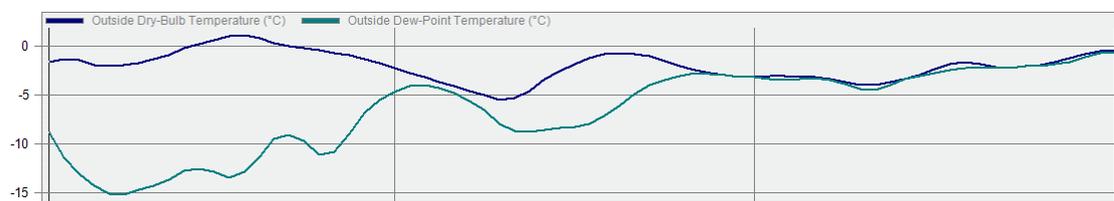


Figura 20: andamenti temperatura bulbo secco e temperatura di rugiada, per 13, 14, 15 gennaio [°C]



Figura 21: velocità del vento per 13, 14, 15 gennaio [m/s]

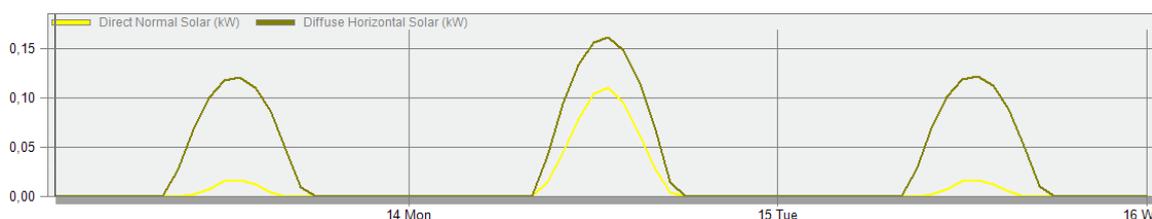


Figura 22: radiazione solare diretta e diffusa per 13, 14, 15 gennaio [kW/m²]

Nei grafici seguenti invece, vengono riportati gli andamenti delle grandezze caratterizzanti il comfort ambientale: temperatura dell'aria, temperatura operativa, temperatura media radiante, umidità dell'aria e indice di Fanger.

L'indice di Fanger è un indice che segue il modello secondo cui gli individui vengono rappresentati come soggetti passivi di scambio termico.

Tale modello vede le temperature ottimali costanti a parità dei valori di sei variabili indipendenti, ossia: temperatura, umidità relativa, velocità dell'aria, temperatura radiante, isolamento del vestiario e livello di attività metabolica. (29) L'indice è compreso tra -3 (molto freddo) e +3 (molto caldo).

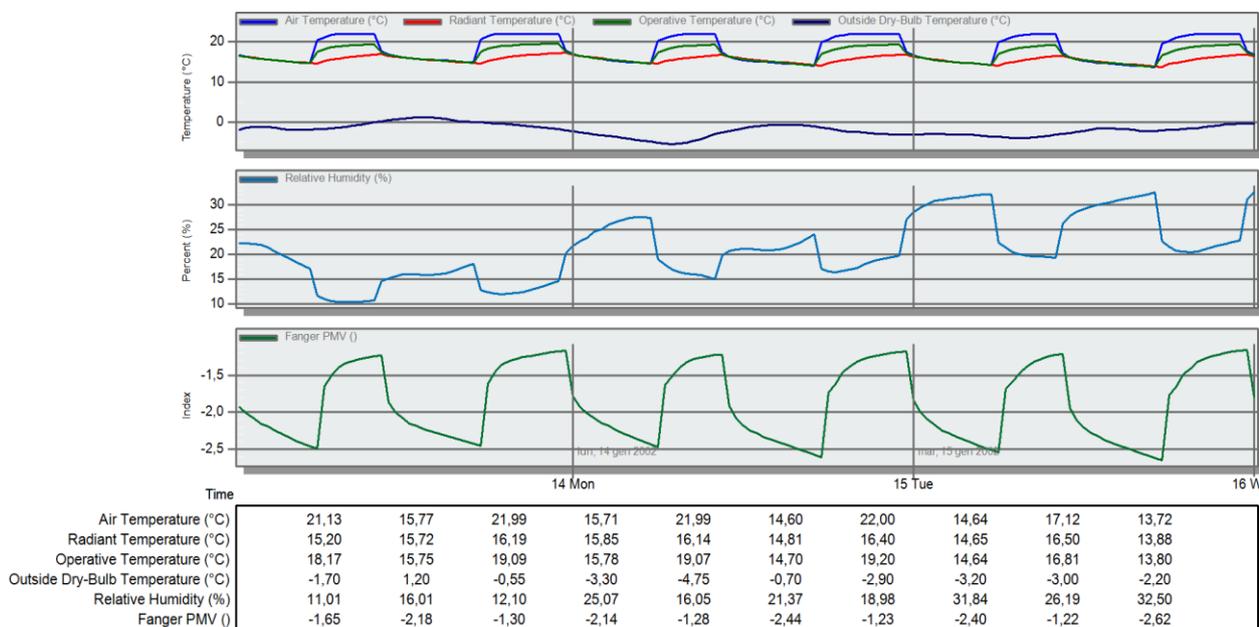


Figura 23: andamento temperature [°C], umidità relativa [%], indice di Fanger per 13, 14 e 15 gennaio

Dal menu di Design Builder, è anche possibile selezionare la voce “fuel breakdown”. Questa mostra la quantità di combustibile consumato, in kW, che entra in gioco nelle simulazioni energetiche, ed è il risultato delle impostazioni iniziali del modello.

Come si può osservare nella figura seguente, la voce “riscaldamento” è la grandezza che influenza maggiormente il costo energetico.

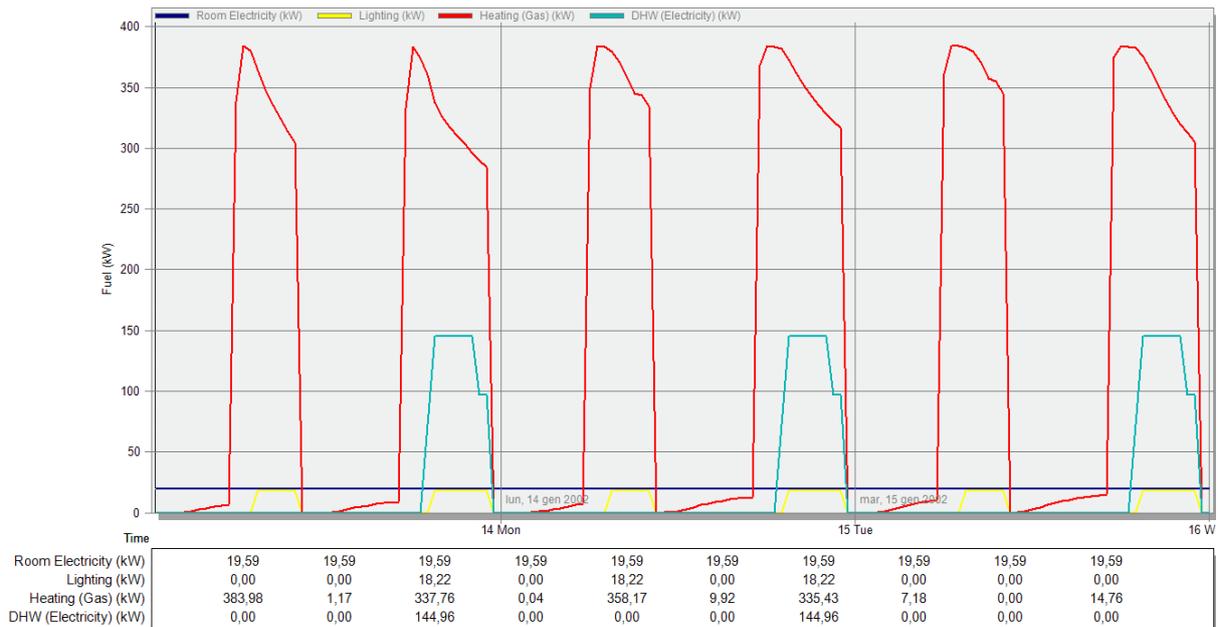


Figura 24: apporti energetici divisi per tipologia di “combustibile” per 13, 14, 15 gennaio [kW]

Questo, infatti, raggiunge nei giorni 13, 14 e 15 gennaio dalle 5 del mattino alle 10,30 circa e dalle 17 a mezzanotte circa, quasi 400 kW.

L’apporto energetico, invece, relativo all’acqua calda sanitaria (si ricorda che è prodotta con l’ausilio di boiler elettrici) è pari a 144,96 kW, e in funzione della programmazione dello schedule, questo è presente dalle 18,30 alle 23,30.

Allo stesso modo, è possibile visualizzare gli stessi apporti energetici in kWh, come mostra la figura seguente:

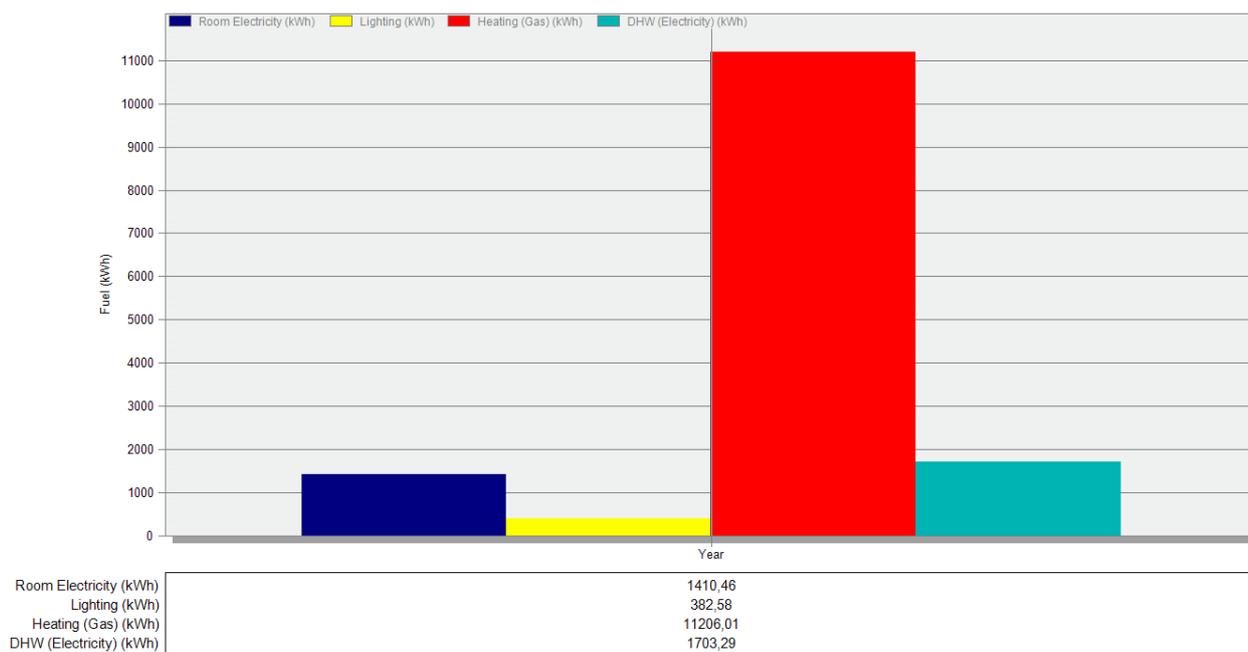


Figura 25: apporti energetici in kWh, mese gennaio

È evidente, anche in questo caso, che la quota “riscaldamento” è quella dal peso maggiore. È uguale, difatti, a 11206,01 kWh, contro 1703,29 kWh dell’apporto energetico per il riscaldamento dell’acqua calda sanitaria e i 1410,46 kWh dell’elettricità consumata per dispositivi come frigoriferi, personal computer, ecc.

Design builder permettere di visualizzare anche i “guadagni energetici”, interni, dovuti all’utilizzo di apparecchiature elettriche, al riscaldamento, alla radiazione solare, alla presenza di persone, ecc.

È possibile visualizzarlo in kW o in kWh e per tipologia.

Di seguito, il grafico che mostra i suddetti guadagni, in kW, per il 13, 14 e 15 gennaio.

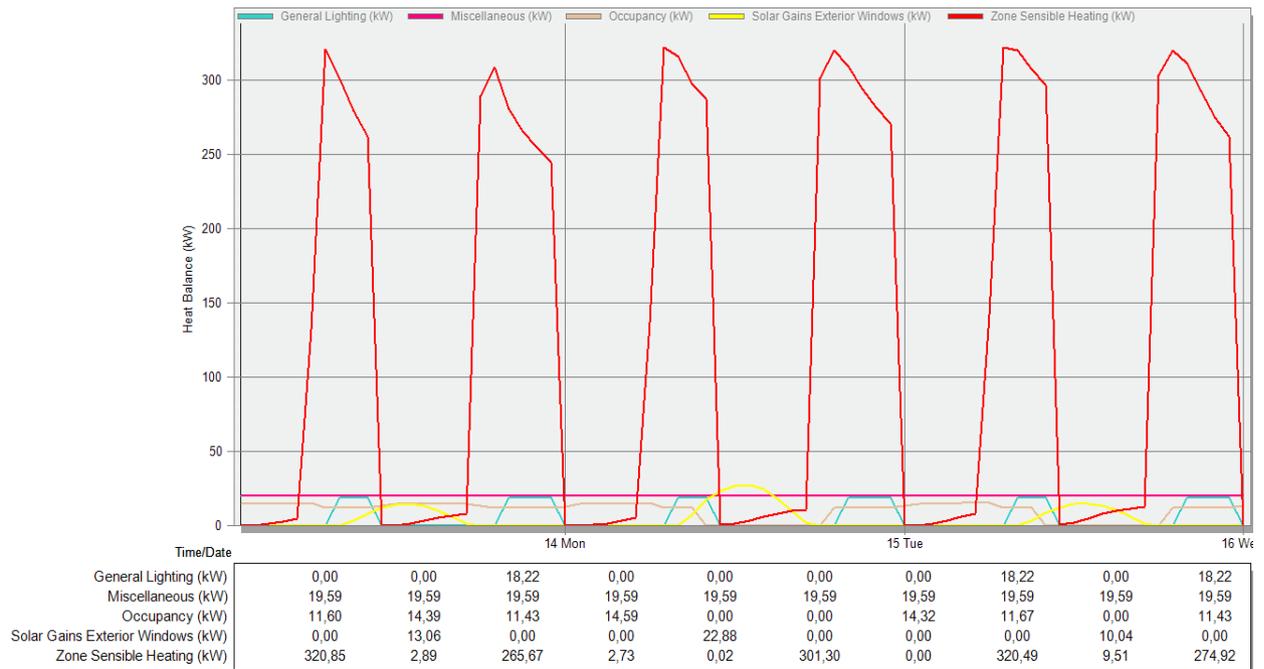


Figura 26: guadagni energetici interni per 13, 14 e 15 gennaio [kW]

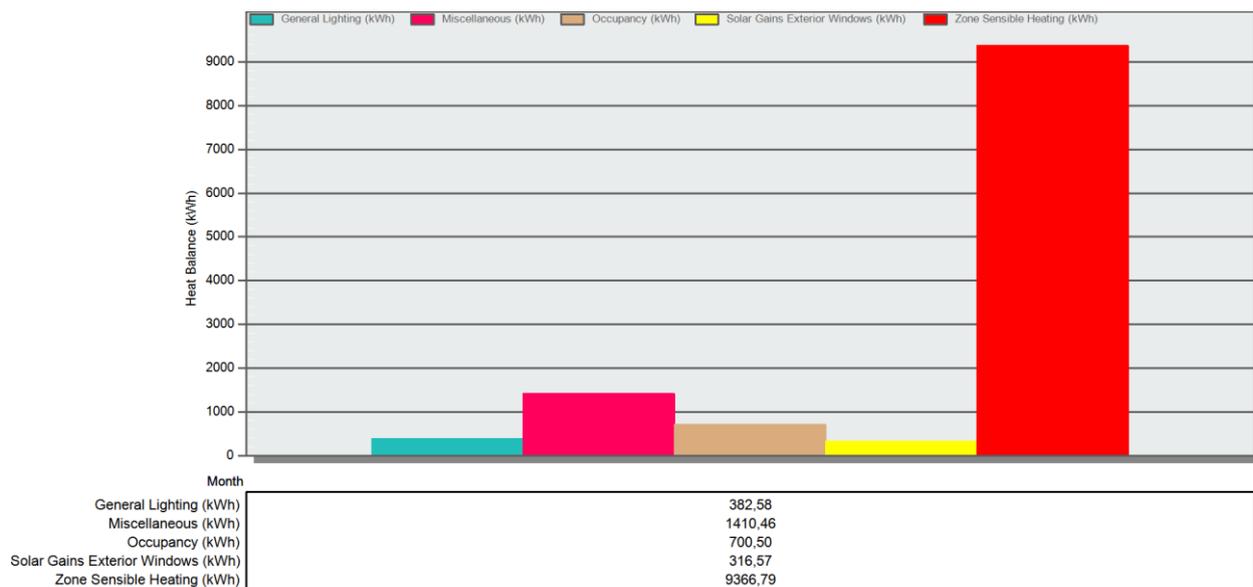


Figura 27: guadagni energetici interni in kWh, mese di gennaio

Anche in questo caso, è possibile denotare che l'apporto maggiore è quello derivante dalla quota riscaldamento.

È interessante, inoltre, confrontare il fabbisogno energetico di calore, con le dispersioni termiche attraverso l'involucro e le strutture trasparenti, e la temperatura di comfort ambientale.

Nel grafico sottostante, è rappresentato tale confronto.

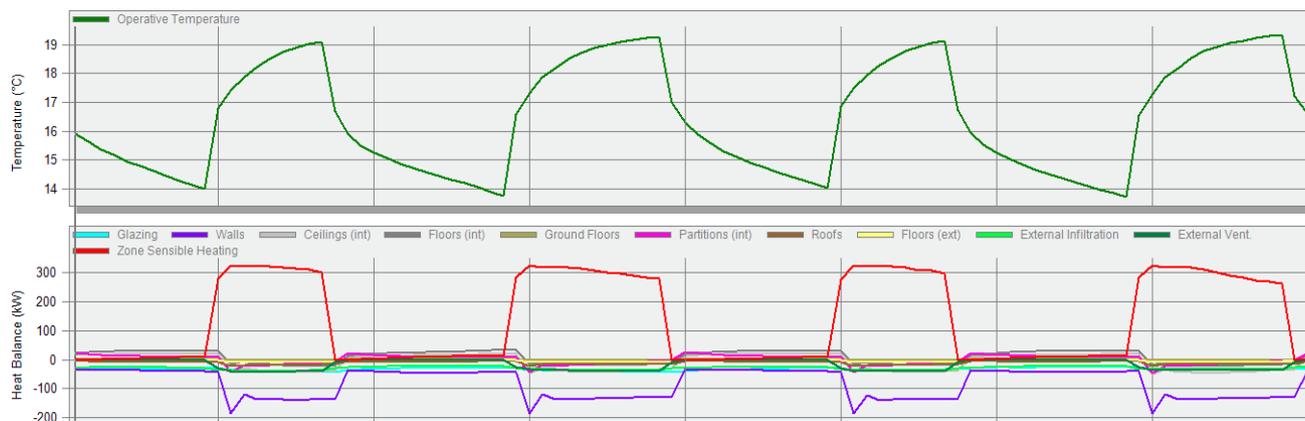


Figura 28: confronto temperatura interna [°C], dispersione attraverso l’involucro e fabbisogno di calore [kW] per il 13, 14 e 15 gennaio

Si riporta anche la tabella riassuntiva:

Tabella 9: Confronto tra temperatura operativa, fabbisogno di calore e dispersione attraverso l’involucro

| | | | | | | | | | | |
|--|--------|---------|--------|---------|---------|--------|---------|--------|--------|---------|
| Operative Temperature (°C) | 14,29 | 18,89 | 14,73 | 17,30 | 19,22 | 14,75 | 18,27 | 15,26 | 13,84 | 19,04 |
| Glazing (kW) | -31,70 | -40,86 | -30,45 | -36,39 | -42,69 | -32,74 | -39,33 | -26,65 | -25,40 | -31,97 |
| Walls (kW) | -39,61 | -138,42 | -45,18 | -184,33 | -130,29 | -37,30 | -138,60 | -38,84 | -41,79 | -133,66 |
| Ceilings (int) (kW) | 19,00 | -42,96 | 14,44 | -46,88 | -35,92 | 19,06 | -37,99 | 13,25 | 18,29 | -44,26 |
| Floors (int) (kW) | 30,76 | -20,65 | 24,21 | -16,92 | -15,87 | 30,25 | -14,66 | 24,03 | 31,03 | -21,60 |
| Ground Floors (kW) | 2,92 | -1,94 | 2,64 | -2,00 | -1,18 | 2,80 | -1,63 | 2,50 | 3,14 | -1,62 |
| Partitions (int) (kW) | 9,03 | -15,52 | 10,48 | -43,41 | -6,08 | 11,13 | -21,70 | 17,29 | 8,58 | -11,74 |
| Roofs (kW) | -7,52 | -17,40 | -7,56 | -22,33 | -14,41 | -7,28 | -18,29 | -6,45 | -6,20 | -15,17 |
| Floors (ext) (kW) | -2,57 | -7,80 | -2,11 | -9,40 | -6,92 | -2,27 | -8,75 | -1,56 | -2,37 | -7,08 |
| External Infiltration (kW) | -27,34 | -38,30 | -22,44 | -31,17 | -36,46 | -25,95 | -36,84 | -25,39 | -23,21 | -33,35 |
| External Vent. (kW) | 0,00 | -41,15 | 0,00 | -33,67 | -39,12 | 0,00 | -39,76 | 0,00 | 0,00 | -35,83 |
| Zone Sensible Heating (kW) | 8,18 | 312,35 | 7,81 | 323,82 | 282,96 | 4,76 | 321,52 | 2,38 | 12,47 | 290,73 |
| Mech Vent + Nat Vent + Infiltration (ac/h) | 0,32 | 0,68 | 0,32 | 0,67 | 0,68 | 0,32 | 0,68 | 0,32 | 0,32 | 0,67 |

Si può subito notare come la temperatura di comfort subisca delle oscillazioni abbastanza evidenti. Questa, infatti, la notte si riduce fino a 13 gradi circa. Allo stesso modo, è evidente denotare come sia elevata la dispersione termica attraverso le strutture opache e trasparenti.

Infine, si riporta il grafico con l’andamento degli apporti energetici per tutta la stagione di riscaldamento, ossia dal 15 ottobre al 15 aprile.

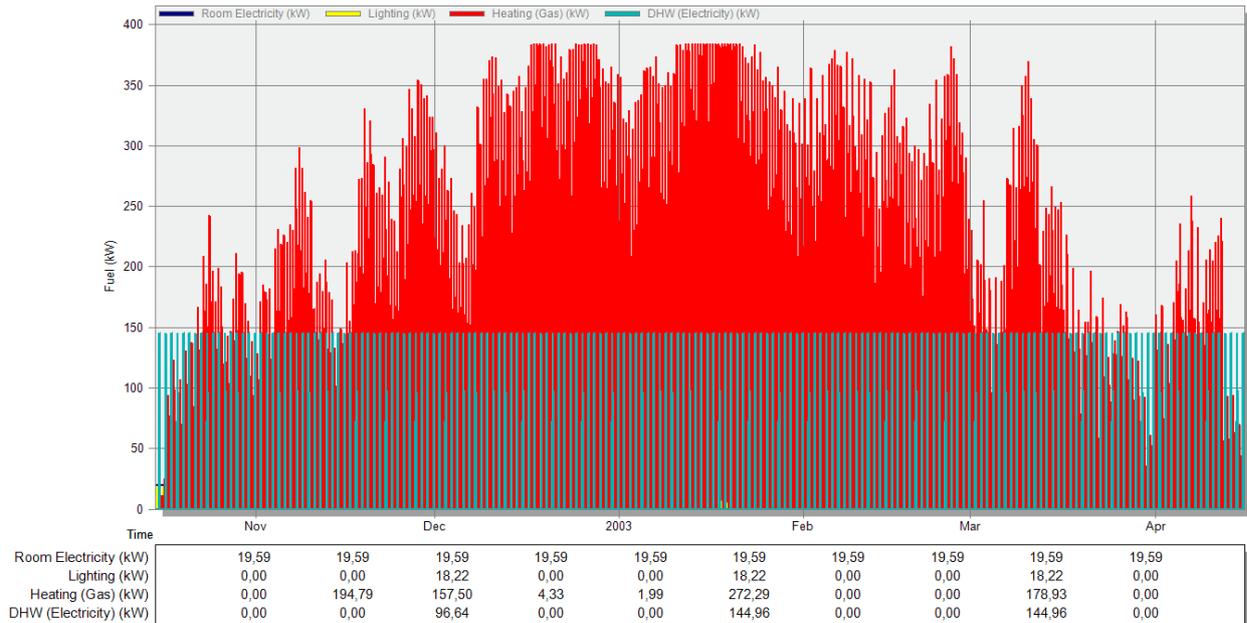


Figura 29: consumi per la durata di tutta la stagione di riscaldamento [kW]

Come citato in precedenza, dopo aver riportato tutti gli andamenti e le grandezze riguardanti i tre giorni peggiori di gennaio e il periodo di riscaldamento, si riportano gli stessi grafici, ma per il 13, 14 e 15 luglio. In tale modo, è possibile fare un confronto tra la stagione invernale e quella estiva.

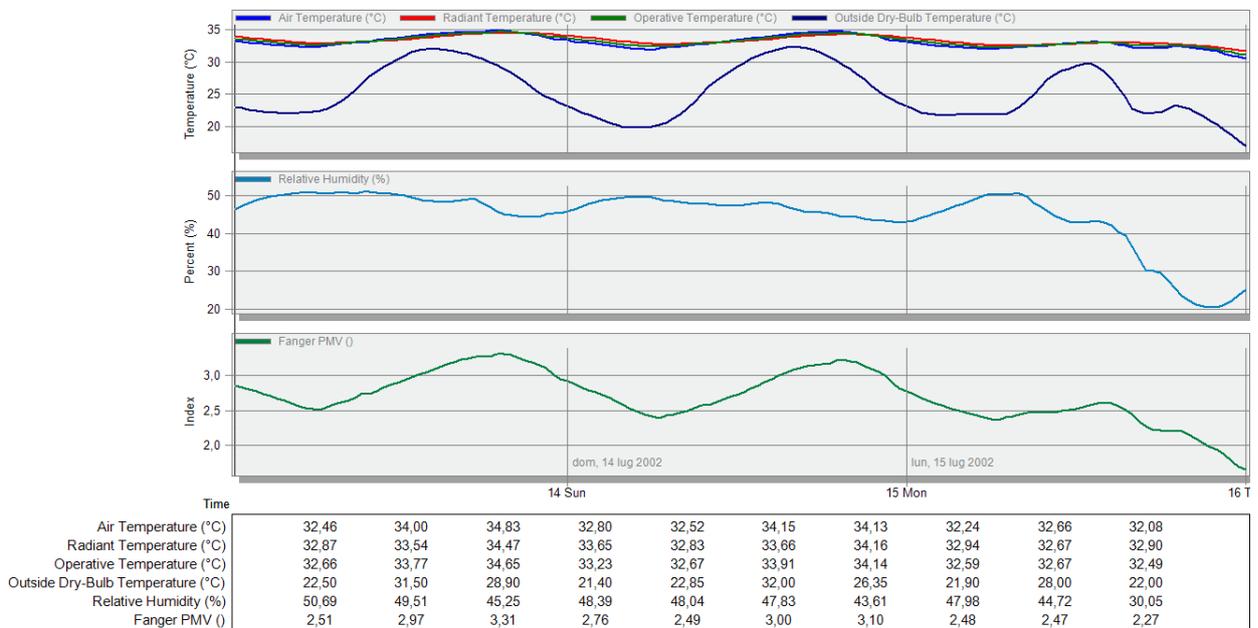


Figura 30: andamento temperature [°C], umidità relativa [%], indice di Fanger per il 13, 14 e 15 luglio

È possibile osservare la temperatura esterna, che nei giorni suddetti si aggira intorno ai 32-34 °C, la temperatura interna ambiente che si aggira anch'essa intorno ai 32-34 °C, l'umidità relativa, e l'indice di Fanger.

Nell'immagine sottostante invece, è rappresentato il consumo energetico, diviso per tipologia.

Come si può osservare, la quota "riscaldamento" (gas) è assente. Questo naturalmente è vero, poiché a luglio non vi è necessità di riscaldare gli ambienti. La quota parte, invece, maggiore, è quella dell'elettricità destinata alla produzione di acqua calda sanitaria.

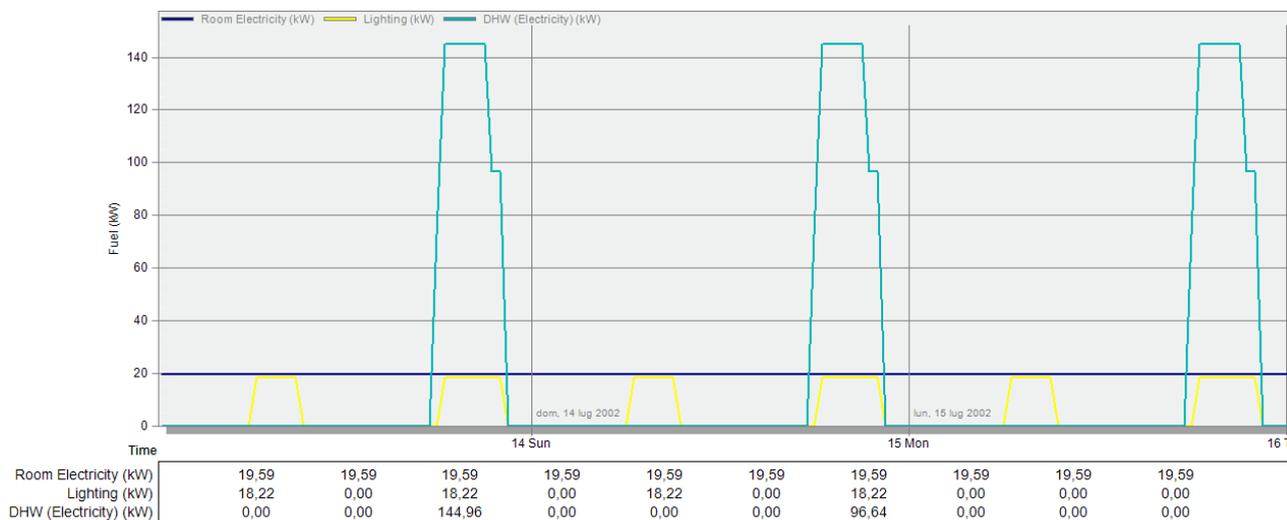


Figura 31: apporti energetici divisi per tipologia di "combustibile" per 13, 14, 15 luglio [kW]

Nella figura seguente, viene riportato l'andamento dei consumi in kWh del 13, 14 e 15 luglio, come fatto per gennaio. Anche in tale caso, è assente la quota parte "riscaldamento".

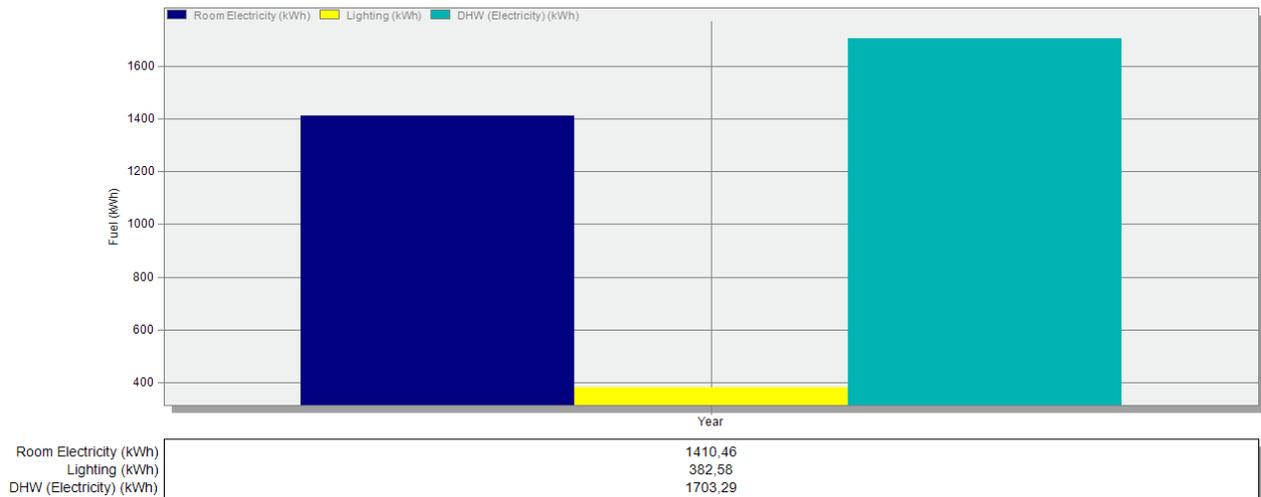


Figura 32: apporti energetici in kWh, mese di luglio

Si riporta infine, il grafico raffigurante, i guadagni energetici interni, in kW e in kWh, dovuti alla radiazione solare, alle apparecchiature, all’occupazione degli ambienti. In questo caso, a differenza di quello del mese di gennaio, è assente l’apporto dovuto al riscaldamento, ed è invece elevato l’apporto dovuto alla radiazione solare.

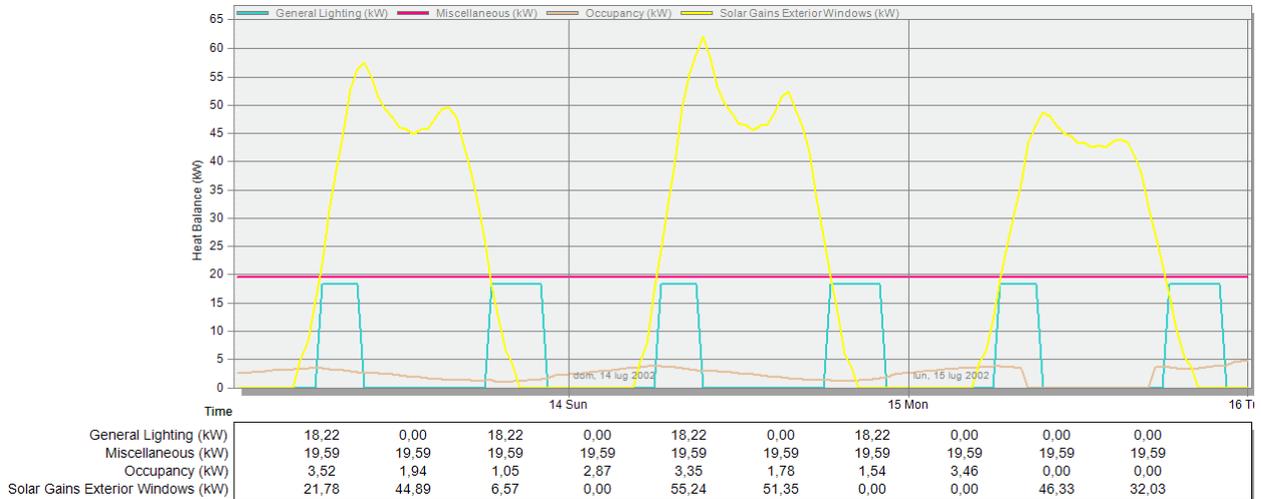


Figura 33: guadagni energetici interni per 13, 14 e 15 luglio [kW]

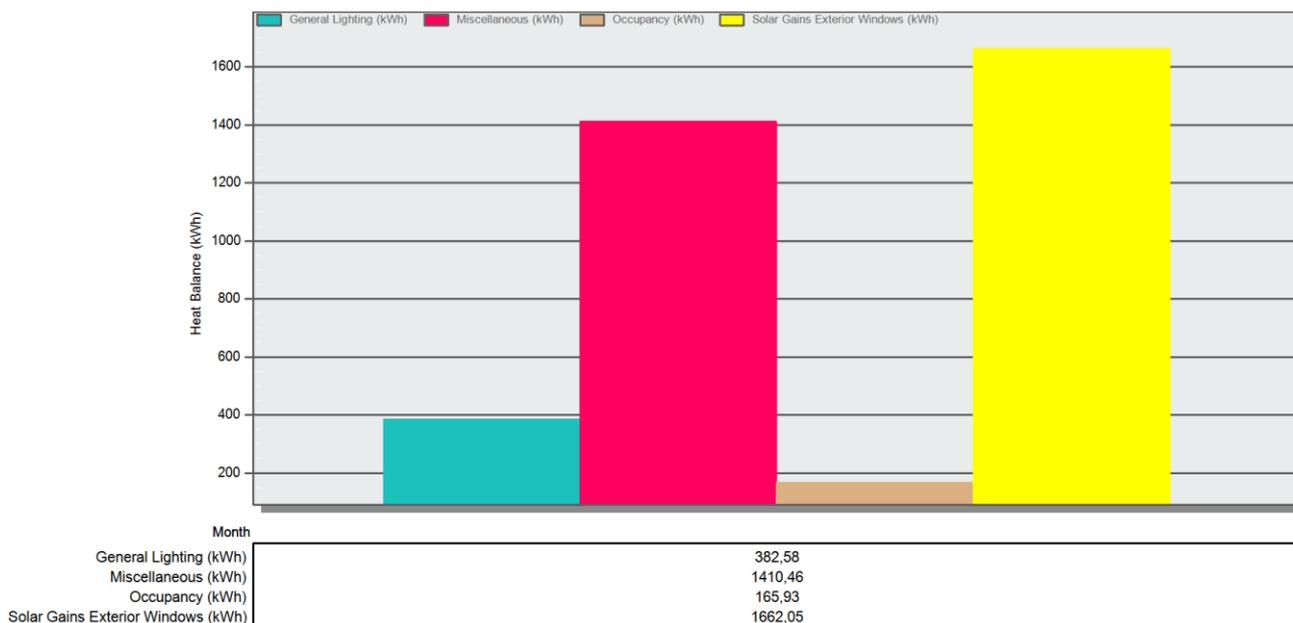


Figura 34: guadagni energetici interni in kWh mese di luglio

Anche in questo caso, viene riportato il confronto tra temperatura interna e dispersioni attraverso l’involucro. Il fabbisogno di calore nel mese di luglio è chiaramente nullo.

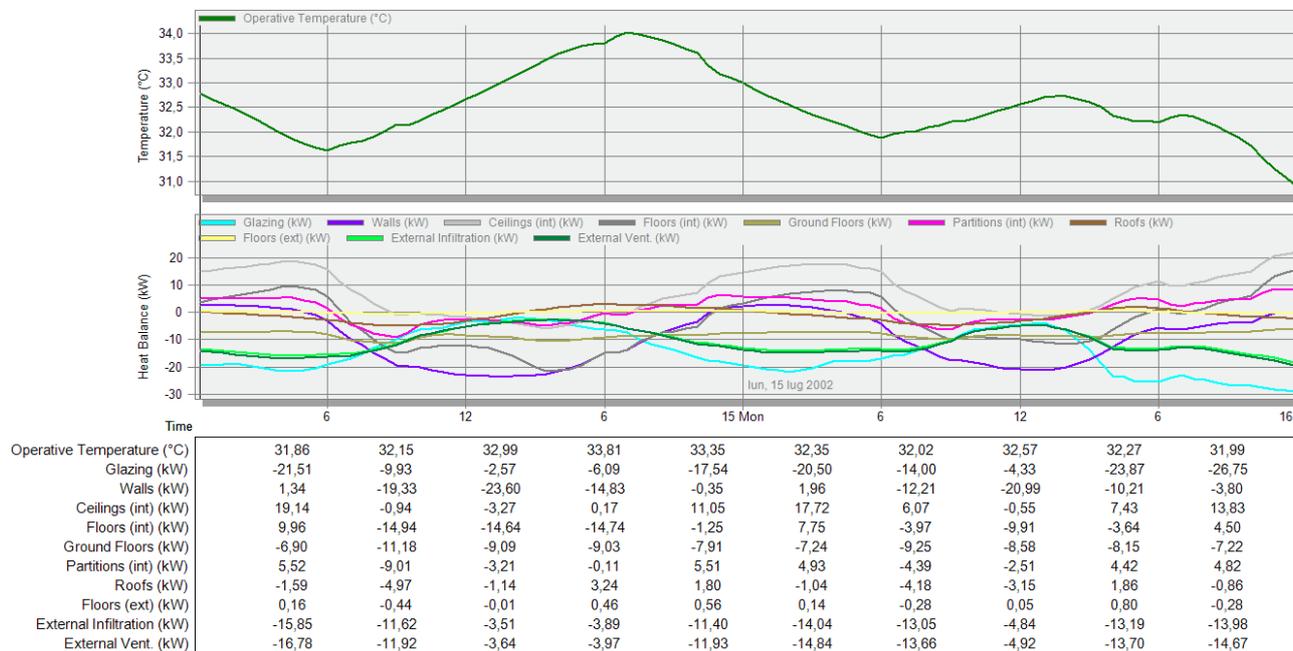


Figura 35: confronto temperatura interna [°C], dispersione attraverso l’involucro, per 13, 14 e 15 luglio

Nella successiva fase, viene condotta un'opera di minimo efficientamento e al palazzo vengono apportate delle modifiche, in modo da rispettare i requisiti minimi di efficienza energetica, imposti dalla legge.

8. EFFICIENTAMENTO, RISULTATI OTTENUTI E ANALISI ECONOMICA

8.1 Efficientamento del Modello

Dopo aver eseguito le prime simulazioni, considerando l'edificio al suo stato originario, è stata eseguita un'opera di minimo efficientamento, in modo tale da conseguire i requisiti minimi fissati dal decreto legislativo di giugno 2015.

È fondamentale prerequisito per la realizzazione di un edificio intelligente, che quest'ultimo sia efficiente e abbia bassi consumi, perché al contrario, sarebbe insensato proporre una smartizzazione. Dunque, l'efficientamento, in tale caso, è un passaggio d'obbligo.

Il decreto fissa i limiti di trasmittanza termica per tutti gli edifici sottoposti a riqualificazione energetica.

Le tabelle sottostanti, riportano i valori limite per le strutture opache verticali, i valori limite per le strutture orizzontali o inclinate di copertura, i valori limite per i pavimenti, e i valori per le strutture tecniche trasparenti o opache apribili, tutte in funzione della zona climatica di riferimento. (30)

Tabella 10: trasmittanza termica U massima delle strutture opache verticali (30)

| Zona climatica | U (W/m ² K) | |
|----------------|------------------------|---------------------|
| | 2015 ⁽¹⁾ | 2021 ⁽²⁾ |
| A e B | 0,45 | 0,40 |
| C | 0,40 | 0,36 |
| D | 0,36 | 0,32 |
| E | 0,30 | 0,28 |
| F | 0,28 | 0,26 |

Tabella 11: trasmittanza termica U massima delle strutture opache orizzontali o inclinate di copertura (30)

| Zona climatica | U (W/m ² K) | |
|----------------|------------------------|---------------------|
| | 2015 ⁽¹⁾ | 2021 ⁽²⁾ |
| A e B | 0,34 | 0,32 |
| C | 0,34 | 0,32 |
| D | 0,28 | 0,26 |
| E | 0,26 | 0,24 |
| F | 0,24 | 0,22 |

Tabella 12: trasmittanza termica U massima delle strutture opache orizzontali di pavimento (30)

| Zona climatica | U (W/m ² K) | |
|----------------|------------------------|---------------------|
| | 2015 ⁽¹⁾ | 2021 ⁽²⁾ |
| A e B | 0,48 | 0,42 |
| C | 0,42 | 0,38 |
| D | 0,36 | 0,32 |
| E | 0,31 | 0,29 |
| F | 0,30 | 0,28 |

Tabella 13: trasmittanza termica U massima delle chiusure tecniche trasparenti (30)

| Zona climatica | U (W/m ² K) | |
|----------------|------------------------|---------------------|
| | 2015 ⁽¹⁾ | 2021 ⁽²⁾ |
| A e B | 3,20 | 3,00 |
| C | 2,40 | 2,00 |
| D | 2,10 | 1,80 |
| E | 1,90 | 1,40 |
| F | 1,70 | 1,00 |

La riqualificazione energetica del modello è stata conseguita apportando le seguenti modifiche:

- Infissi in pvc e vetri doppi con argon all'interno dell'intercapedine;
- Isolamento a cappotto con pannelli di 10 cm in polistirene espanso sinterizzato (EPS) per l'isolamento delle pareti esterne, e pannelli di 15 cm di schiuma poliuretana per l'isolamento dei solai;
- Caldaia a gas ad alta efficienza sia per il riscaldamento che per la produzione di acqua calda sanitaria;
- Luci a led ad alta efficienza in tutto l'edificio;

8.1.1 Infissi in PVC con vetri camera e Argon

La sostituzione degli infissi rappresenta un elemento di fondamentale importanza quando si procede con la riqualificazione di un edificio. Questi infatti, influenzano non soltanto il comfort interno e la temperatura ambiente, ma anche il fabbisogno energetico per il riscaldamento e il raffrescamento. Devono dunque possedere ottime qualità termiche, evitando la dispersione di calore, buone performance acustiche, alta efficienza e durabilità nel tempo.

I requisiti minimi che devono essere rispettati sono (31):

- Isolamento a tenuta all'aria, secondo la norma UNI-EN 12207;
- Tenuta alle infiltrazioni d'acqua, secondo la norma UNI-EN 12208;
- Resistenza alle sollecitazioni del vento, secondo la norma UNI-EN 12210;
- Isolamento termico, secondo la norma UNI-EN 10077/2.

Altri importanti fattori da considerare nella scelta degli infissi e dei vetri sono l'illuminazione e la ventilazione.

L'illuminazione dipende dall'esposizione e dal piano dell'abitazione, ma va considerato anche il vano.

La ventilazione è un fattore molto importante per il raggiungimento di un alto livello di comfort, gli infissi devono quindi garantire un buon ricambio d'aria e la diminuzione di umidità.

Le simulazioni nella prima parte del presente lavoro, sono state condotte con l'inserimento in Design Builder di vetri singoli e telai in legno. Nei palazzi degli anni '60 infatti, venivano installate uniche lastre di vetro in telai realizzati in legno.

In questa fase successiva, invece, come descritto precedentemente, vengono sostituiti i vetri singoli con i *vetri camera*. Questo tipo di vetri sono costituiti da doppie (o anche triple) lastre di vetro accoppiate con una camera d'aria tra loro, che aumenta il potere isolante, evitando la formazione di ponti termici e condense.

Per aumentare ulteriormente il potere isolante e le prestazioni dei vetri camera è possibile riempirli di gas nobili come l'argon, anziché d'aria, questi infatti posseggono una conduttività termica inferiore. (32)

Per le successive simulazioni, sono stati scelti dunque, vetri camera riempiti con argon e telai in PVC, in quanto rispetto all'alluminio quest'ultimo possiede maggiori proprietà fonoisolanti, minor trasmittanza termica e inoltre, costo minore.

8.1.2 Isolamento a Cappotto

Caratteristica fondamentale per un edificio performante ad alta efficienza e a basso consumo energetico, è l'isolamento termico delle pareti. Gli edifici degli anni '60 ne erano privi, e l'isolamento non soltanto permette la riduzione dei consumi energetici per riscaldamento e raffrescamento degli ambienti, ma aumenta il comfort interno, isola dal rumore esterno, ed evita fenomeni di condensa e muffe.

L'isolamento a cappotto, è un tipo di isolamento realizzato con pannelli di materiale isolante, che vengono fissati alle pareti esterne o interne. (33)

L'isolamento a cappotto realizzato sulle pareti esterne, permette di evitare le escursioni termiche sulla parete, mantenendola più calda in inverno e più fresca in

estate. Oltretutto questa tipologia di isolamento, rispetto al cappotto interno, evita la formazione di condensa e quindi di muffe. Un ulteriore vantaggio di questa tipologia, è l'eliminazione dei ponti termici. (33)

Per la scelta dell'isolante da utilizzare, bisogna tenere presente la conducibilità termica di quest'ultimo. Più è bassa la conducibilità, più il materiale isola dal freddo.

Nel caso in esame, è stato scelto per l'isolamento a cappotto esterno delle pareti lastre di *polistirene espanso sinterizzato (EPS)*, avente conducibilità termica uguale a 0,04 W/m-K.

Anche l'isolamento dei solai è fondamentale per la realizzazione di un edificio a bassi consumi energetici, e soprattutto per evitare i fenomeni di condense e muffe. Con il decreto legislativo 311/06 viene imposto l'obbligo di coibentare le strutture orizzontali delle abitazioni, in modo tale da ridurre il fabbisogno energetico.

L'isolante utilizzato per solai calpestabili, deve possedere, oltre ad alte proprietà termoacustiche, anche un'alta resistenza alla compressione, sono quindi da escludere tutti quei materiali come la fibra di vetro, se non provvisti di un adeguato rinforzo superficiale.

Per questo scopo, sono preferibili isolanti come la schiuma poliuretana o il polistirene estruso. Essi infatti, posseggono: ottima resistenza meccanica, resistenza all'acqua, durata nel tempo, facilità di posa, ottime capacità isolanti. (34)

Per il modello studiato, si è ipotizzato l'inserimento di pannelli in schiuma poliuretana. Questi, sono costituiti da schiuma di poliuretano espanso a cellule chiuse, realizzate tra due lastre di vetroresina o carta bitumata. Tali pannelli posseggono caratteristiche altamente performanti: bassissima conducibilità termica, alta resistenza al vapore, alta resistenza alla compressione e stabilità dimensionale. (35)

8.1.3 Caldaia a gas per ACS e Luci Led

L'edificio, costruito nei primi anni '60, si ipotizza provvisto di una vecchia caldaia a gas naturale, a bassa efficienza, per il riscaldamento invernale dei 52 appartamenti, privo di impianto di climatizzazione estiva, e provvisto di boiler elettrici per la produzione di acqua calda sanitaria installati in ogni appartamento.

Secondo il decreto legislativo del 26 giugno 2015, *nel caso di impianti termici al servizio di più unità immobiliari è obbligatoria l'installazione di un sistema di contabilizzazione del calore, del freddo e dell'acqua calda sanitaria, conformemente a quanto previsto dall'art.9, comma 5, del d.lgs. 102/2014*. Dunque, si opterà per la sostituzione dei boiler elettrici a favore di un'ulteriore caldaia a gas ad alta efficienza, verranno installate le valvole termostatiche per la termoregolazione e verranno installati dei sistemi di regolazione per singolo ambiente.

Inoltre, in base al suddetto decreto, le efficienze dei sistemi di riscaldamento e di produzione di acqua calda sanitaria, devono essere maggiori o uguali dei limiti prefissati per *l'edificio di riferimento*.

È possibile verificare tali limiti nella tabella sottostante, ricavata dall'allegato A del decreto.

Tabella 14: Efficienze medie dei sottosistemi di generazione dell'edificio di riferimento per la per la produzione di energia termica e per la produzione di energia elettrica. (36)

| Sottosistemi di generazione: | Produzione di energia termica | | | Produzione di energia elettrica in situ |
|--|-------------------------------|---------------------------------|------|---|
| | H | C | W | |
| - Generatore a combustibile liquido | 0,82 | - | 0,80 | - |
| - Generatore a combustibile gassoso | 0,95 | - | 0,85 | - |
| - Generatore a combustibile solido | 0,72 | - | 0,70 | - |
| - Generatore a biomassa solida | 0,72 | - | 0,65 | - |
| - Generatore a biomassa liquida | 0,82 | - | 0,75 | - |
| - Pompa di calore a compressione di vapore con motore elettrico | 3,00 | (*) | 2,50 | - |
| - Macchina frigorifera a compressione di vapore a motore elettrico | - | 2,50 | - | - |
| - Pompa di calore ad assorbimento | 1,20 | (*) | 1,10 | - |
| - Macchina frigorifera a fiamma indiretta | - | $0,60 \times \eta_{gn}$ (**) | - | - |
| - Macchina frigorifera a fiamma diretta | - | 0,60 | - | - |
| - Pompa di calore a compressione di vapore a motore endotermico | 1,15 | 1,00 | 1,05 | - |
| - Cogeneratore | 0,55 | - | 0,55 | 0,25 |
| - Riscaldamento con resistenza elettrica | 1,00 | - | - | - |
| - Teleriscaldamento | 0,97 | - | - | - |
| - Teleraffrescamento | - | 0,97 | - | - |
| - Solare termico | 0,3 | - | 0,3 | - |
| - Solare fotovoltaico | - | - | - | 0,1 |
| - Mini eolico e mini idroelettrico | - | - | - | (**) |

NOTA: Per i combustibili tutti i dati fanno riferimento al potere calorifico inferiore
 (*) Per pompe di calore che prevedono la funzione di raffrescamento di considera lo stesso valore delle macchine frigorifere della stessa tipologia
 (**) si assume l'efficienza media del sistema installato nell'edificio reale

Dunque, le nuove caldaie dovranno possedere rendimenti maggiori o uguali a 0,95 per la climatizzazione invernale, e 0,85 per la produzione di acqua calda sanitaria.

Per quanto riguarda l'illuminazione, i consumi energetici dipendono da molti fattori, ad esempio: il tipo di sorgenti luminose, il loro numero, la loro potenza, la possibilità di regolazione dell'impianto. Inoltre, fattore da non escludere, è il contributo della luce naturale proveniente dai raggi solari. (37)

L'illuminazione dell'edificio, si è ipotizzata inizialmente a bassissima efficienza, con lampade a incandescenza. Dunque, la loro sostituzione verrà eseguita a favore di

luci a led ad alta efficienza, che rispettano i requisiti minimi definiti dalle direttive 2009/125/CE e 2010/30/UE. Inoltre, per l'illuminazione del vano scala, si ipotizza l'inserimento di interruttori orari, che permettono una programmazione temporale in modo da attivare le luci in funzione del giorno e dell'orario.

8.2 Impostazioni del Modello su Design Builder

Come sopraccitato, in questa seconda fase, vengono inseriti in Design Builder tutti i nuovi parametri necessari all'efficientamento dell'edificio modello.

Vengono riportate di seguito le stratigrafie delle pareti e dei solai con l'inserimento dell'isolante, e le rispettive caratteristiche.

Vengono inoltre, messi a confronto i valori di trasmittanza, prima e dopo l'isolamento.

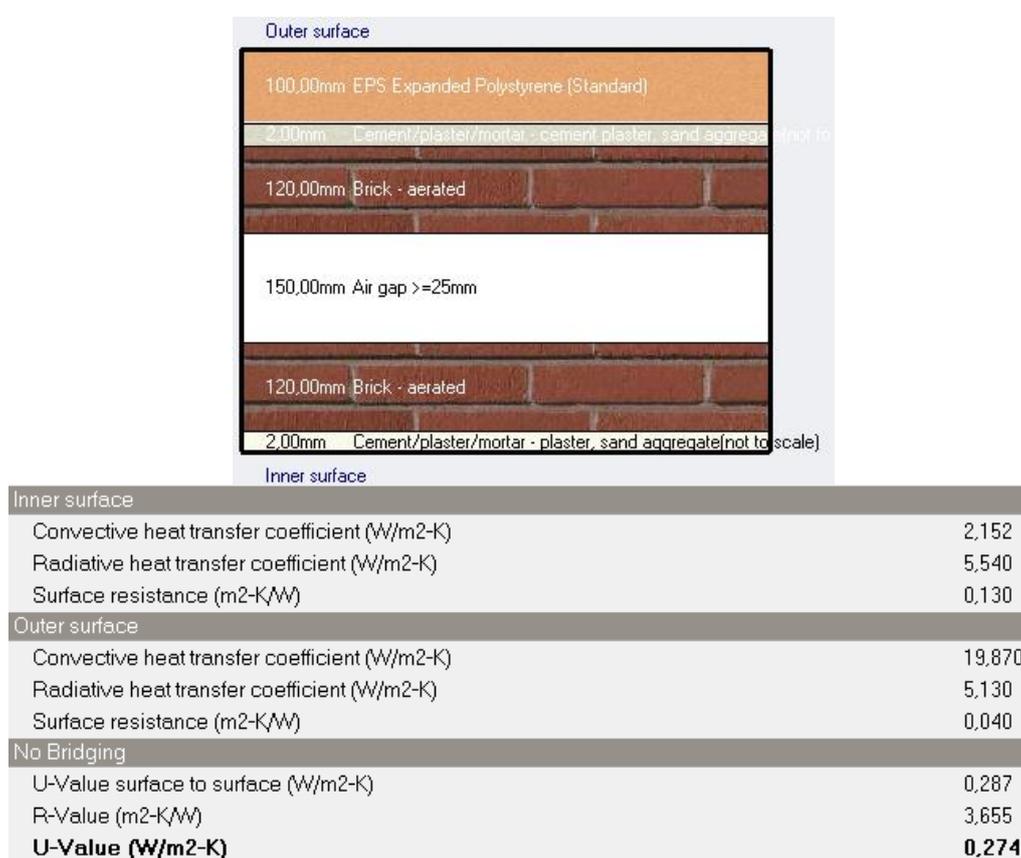


Figura 36: stratigrafia parete con isolamento EPS e caratteristiche stratigrafia parete con isolamento

Come è possibile osservare, il valore della trasmittanza termica si è ridotto grazie all'inserimento del pannello di EPS.

È possibile confrontare tale valore con quello precedente dalla tabella sottostante:

Tabella 15: confronto tra le caratteristiche prima dell'isolamento e dopo

| | Parete priva di Isolamento | Parete con Isolamento (pannello di EPS, 10 cm) |
|---|----------------------------|--|
| Thickness (m) | 0,394 | 0,494 |
| Internal heat capacity (KJ/m ² -K) | 85,1424 | 85,1424 |
| R-Value (m ² -K/W) | 1,155 | 3,655 |
| U-Value (W/ m ² -K) | 0,866 | 0,274 |

Oltre al confronto tra la trasmittanza termica precedentemente all'inserimento del pannello di EPS e successivamente, viene riportato il diagramma di Glaser, per lo studio della condensa interstiziale, a dimostrazione che l'isolamento termico evita i fenomeni di formazione di condensa.

Tabella 16: Risultati dell'analisi effettuata da DB sulla Condensazione interstiziale sulla parete isolata

| Condensation Analysis Report |
|--|
| Interstitial Condensation |
| Structure is free of condensation. |
| Condensation Interfaces |
| Number of condensation interfaces: 0 |
| Surface Condensation |
| Thermal quality Good. Mould growth unlikely. |

Glaser Diagram
Jan

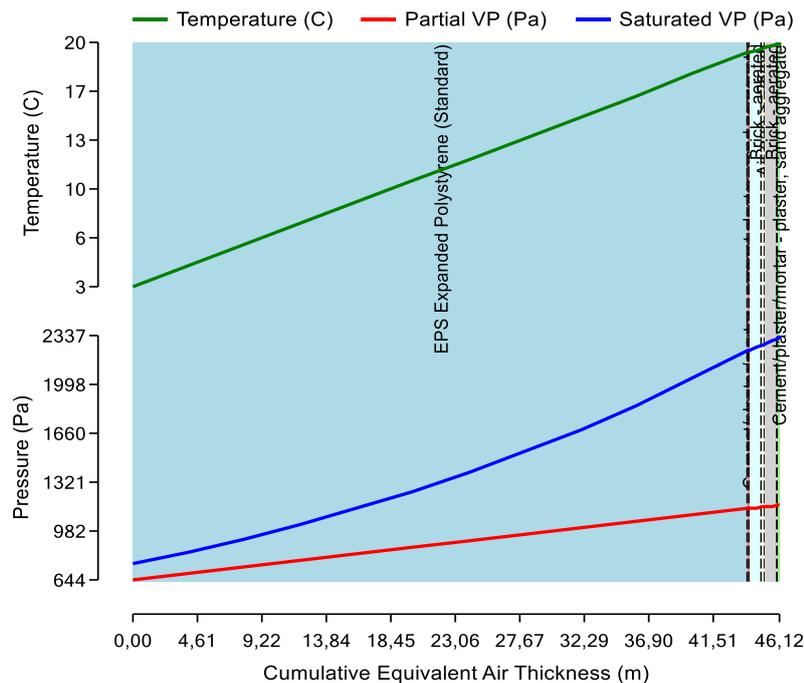


Figura 37: Diagramma di Glaser relativo alla parete isolata

Allo stesso modo, vengono riportate le stratigrafie del solaio di copertura e del solaio intermedio (pavimento), con le relative caratteristiche e il confronto tra i valori di trasmittanza prima e dopo l'isolamento.



Figura 38: stratigrafia solaio di copertura con isolamento a schiuma poliuretana e tabella con relative caratteristiche

Anche in questo caso, l'U-value si è ridotto grazie all'utilizzo della schiuma poliuretana.

Nella tabella successiva viene visualizzato il confronto tra i due valori, prima e dopo il suo utilizzo.

Tabella 17: confronto tra le caratteristiche prima dell'isolamento e dopo

| | Solaio di copertura privo di Isolamento | Solaio di copertura con Isolamento (pannello di schiuma poliuretana, 15 cm) |
|--|--|--|
| Thickness (m) | 0,40 | 0,55 |
| Internal heat capacity (KJ/m²-K) | 39,06 | 39,06 |
| R-Value (m²-K/W) | 0,612 | 6,017 |
| U-Value (W/ m²-K) | 1,634 | 0,166 |

Sottostante è riportato il diagramma di Glaser con il report redatto da Design Builder. Nuovamente vi è l'assenza di condensa, rispetto al precedente caso.

Tabella 18: Risultati dell'analisi effettuata da DB sulla Condensazione interstiziale sul solaio di copertura isolato

| |
|--|
| Condensation Analysis Report |
| Interstitial Condensation |
| Structure is free of condensation. |
| Condensation Interfaces |
| Number of condensation interfaces: 0 |
| Surface Condensation |
| Thermal quality Good. Mould growth unlikely. |

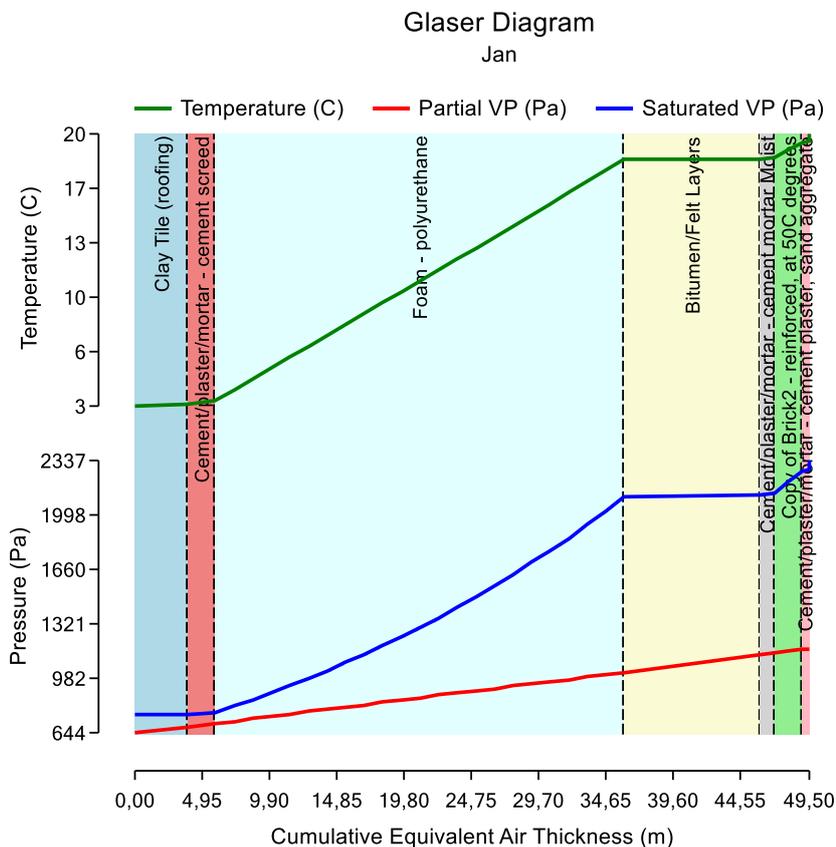


Figura 39: Diagramma di Glaser relativo al solaio di copertura isolato

Dalla figura soprastante, è possibile denotare l'assenza di condensa, che in precedenza in assenza di isolante, era invece presente.

Per ultima, la stratigrafia del pavimento, anch'essa con l'inserimento dei pannelli di schiuma poliuretana, questa volta di spessore maggiore rispetto al caso

precedente, per evitare la formazione di condensa, che al di sotto di questo spessore si formerebbe.

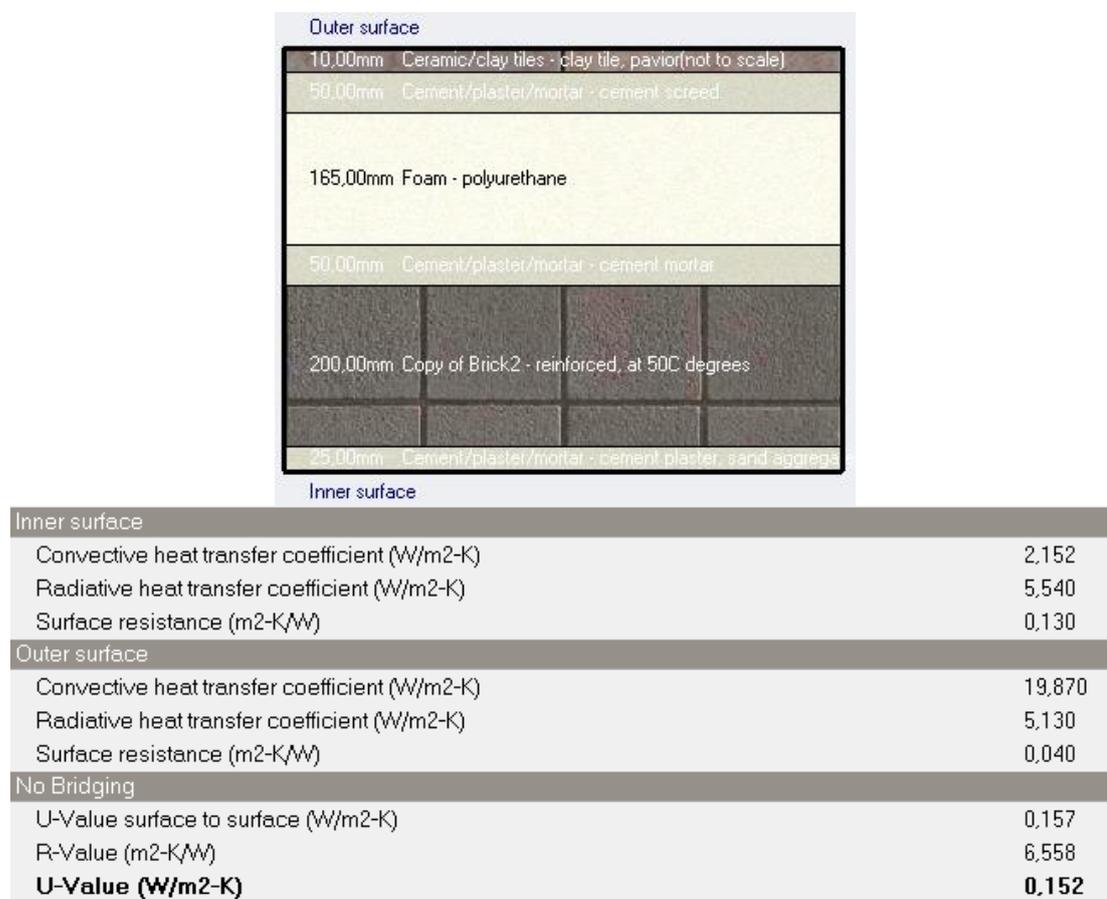


Figura 40: stratigrafia solaio intermedio con isolamento a schiuma poliuretana e tabella con relative caratteristiche

Sottostante la tabella di confronto tra i valori di trasmittanza termica, e successivamente il diagramma di Glaser.

Tabella 19: confronto tra le caratteristiche prima dell'isolamento e dopo per la pavimentazione

| | Solaio intermedio privo di Isolamento | Solaio intermedio con Isolamento (pannello di schiuma poliuretana, 15 cm) |
|--|--|--|
| Thickness (m) | 0,355 | 0,50 |
| Internal heat capacity (KJ/m²-K) | 39,06 | 39,06 |
| R-Value (m²-K/W) | 0,680 | 6,558 |
| U-Value (W/m²-K) | 1,471 | 0,152 |

| |
|--|
| Condensation Analysis Report |
| Interstitial Condensation |
| Structure is free of condensation. |
| Condensation Interfaces |
| Number of condensation interfaces: 0 |
| Surface Condensation |
| Thermal quality Good. Mould growth unlikely. |

Glaser Diagram
Jan

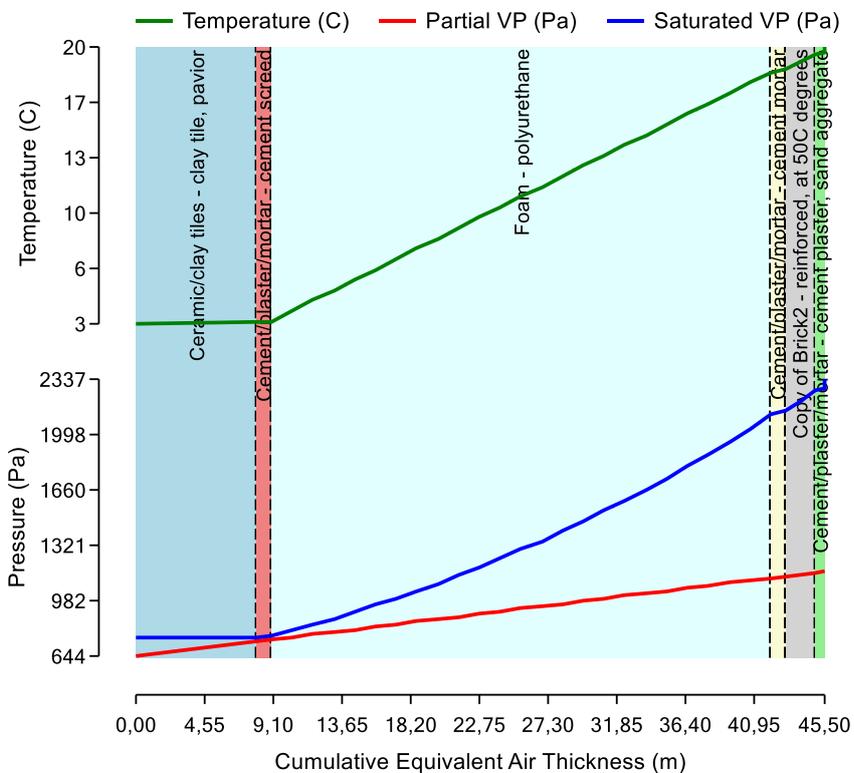


Figura 41: Report e diagramma di Glaser relativo alla pavimentazione isolata

Anche stavolta, come si può denotare, vi è l'assenza di condensa tra i layer.

Per quanto riguarda i serramenti, questi sono stati sostituiti con altri ad alta efficienza: infissi in PVC, chiari con vetri camera con argon all'interno dell'intercapedine.

Nella figura seguente, è possibile osservare le caratteristiche degli infissi scelti.

| Calculated Values | |
|---|-------|
| Total solar transmission (SHGC) | 0,416 |
| Direct solar transmission | 0,345 |
| Light transmission | 0,682 |
| U-value (ISO 10292/ EN 673) (W/m ² -K) | 1,337 |
| U-Value (ISO 15099 / NFRC) (W/m ² -K) | 1,337 |

Figura 42: Caratteristiche nuovi infissi con vetro camera

Si riporta, successivamente, una tabella di confronto tra le trasmissioni termiche delle superfici opache prima e dopo l'isolamento, e la trasmissione termica prima e dopo la sostituzione degli infissi.

Tabella 20: Confronto tra Trasmittanze termiche prima e dopo l'efficientamento energetico

| | U-Value (W/ m²-K) Prima dell'efficientamento | U-Value (W/ m²-K) Dopo l'efficientamento | U-Value (W/ m²-K) limiti di legge |
|--------------------------------|--|--|---|
| Parete | 0,866 | 0,274 | 0,28 |
| Solaio intermedio | 1,471 | 0,152 | 0,29 |
| Solaio di copertura | 1,634 | 0,166 | 0,24 |
| Infissi | 6,121 | 1,337 | 1,40 |

Come è possibile valutare, conseguentemente all'efficientamento delle strutture opache e trasparenti, i valori di trasmittanza termica diminuiscono di molto e rientrano perfettamente nei limiti di legge previsti dal decreto del 26 giugno 2015.

8.3 Risultati delle Simulazioni

Dopo aver impostato tutte le caratteristiche necessarie per l'opera di efficientamento del modello, si procede a lanciare le simulazioni in regime dinamico, come realizzato precedentemente, e vengono successivamente riportati i risultati.

Gli andamenti delle caratteristiche ambientali della località scelta come temperature, velocità del vento, pressione e radiazione solare, restano chiaramente invariati. Si riportano, dunque, solo gli apporti energetici e quelli di comfort, prima del 13, 14 e 15 gennaio, poi del 13, 14 e 15 luglio, per valutarne le differenze con i precedenti.

Di seguito, le grandezze caratterizzanti il comfort interno.

Si può osservare che la temperatura operativa (ossia la temperatura interna ambiente) mantiene valori pressoché costanti, rispetto al caso precedente, in cui si potevano osservare, invece, delle oscillazioni.

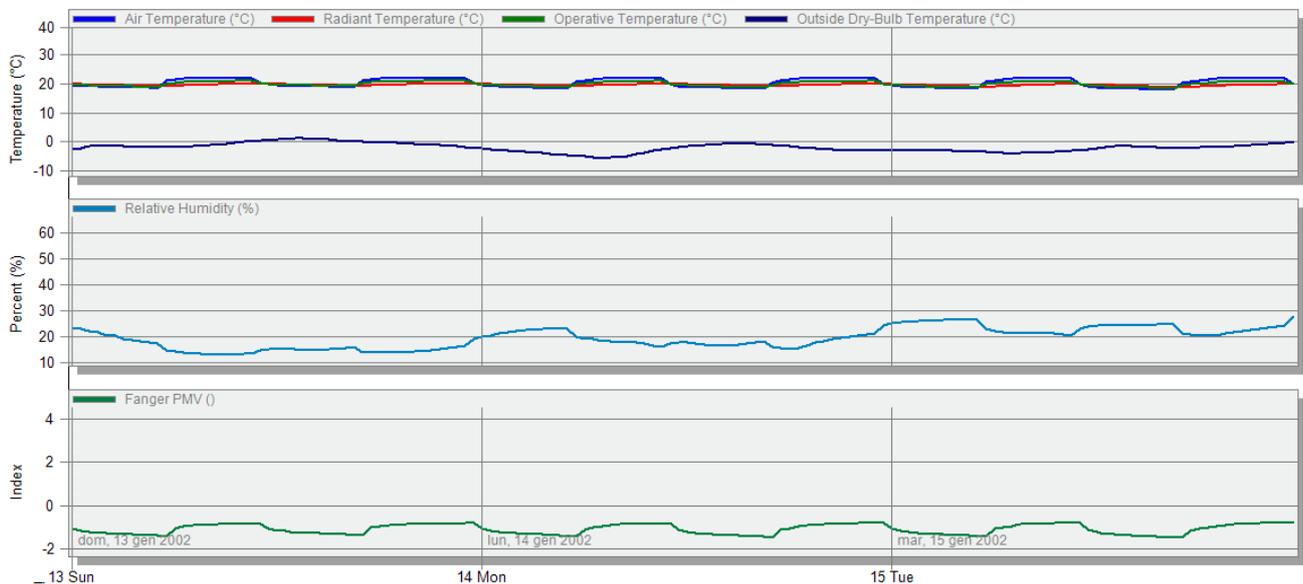


Figura 43: andamento temperature, umidità relativa e indice di Fanger per 13, 14 e 15 gennaio dopo l'efficientamento

Tabella 21: valori temperature, umidità relativa e indice di Fanger per 13, 14 e 15 gennaio dopo l'efficientamento

| | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Air Temperature (°C) | 22,01 | 20,05 | 22,00 | 19,99 | 22,00 | 19,51 | 22,00 | 19,80 | 22,00 | 21,38 |
| Radiant Temperature (°C) | 20,14 | 20,39 | 20,42 | 20,28 | 20,45 | 20,07 | 20,44 | 20,06 | 20,53 | 19,75 |
| Operative Temperature (°C) | 21,07 | 20,22 | 21,21 | 20,13 | 21,23 | 19,79 | 21,22 | 19,93 | 21,27 | 20,56 |
| Outside Dry-Bulb Temperature (°C) | -0,45 | 4,60 | 4,20 | 4,00 | 3,65 | 5,50 | 4,70 | 4,00 | 3,90 | 4,10 |
| Relative Humidity (%) | 27,57 | 35,31 | 37,00 | 40,37 | 34,92 | 38,25 | 35,92 | 40,84 | 34,13 | 33,16 |
| Fanger PMV () | -0,76 | -0,96 | -0,65 | -0,94 | -0,66 | -1,04 | -0,65 | -0,99 | -0,65 | -1,14 |

Come è possibile osservare un andamento “più costante” della temperatura operativa, questa infatti non va mai al di sotto dei 18 °C, così allo stesso modo si può denotare una sostanziale diminuzione del consumo di “combustibile”: gas

naturale per riscaldamento, gas naturale per acqua calda sanitaria in sostituzione dei boiler elettrici, elettricità per illuminazione.

La seguente figura, riporta i suddetti andamenti.

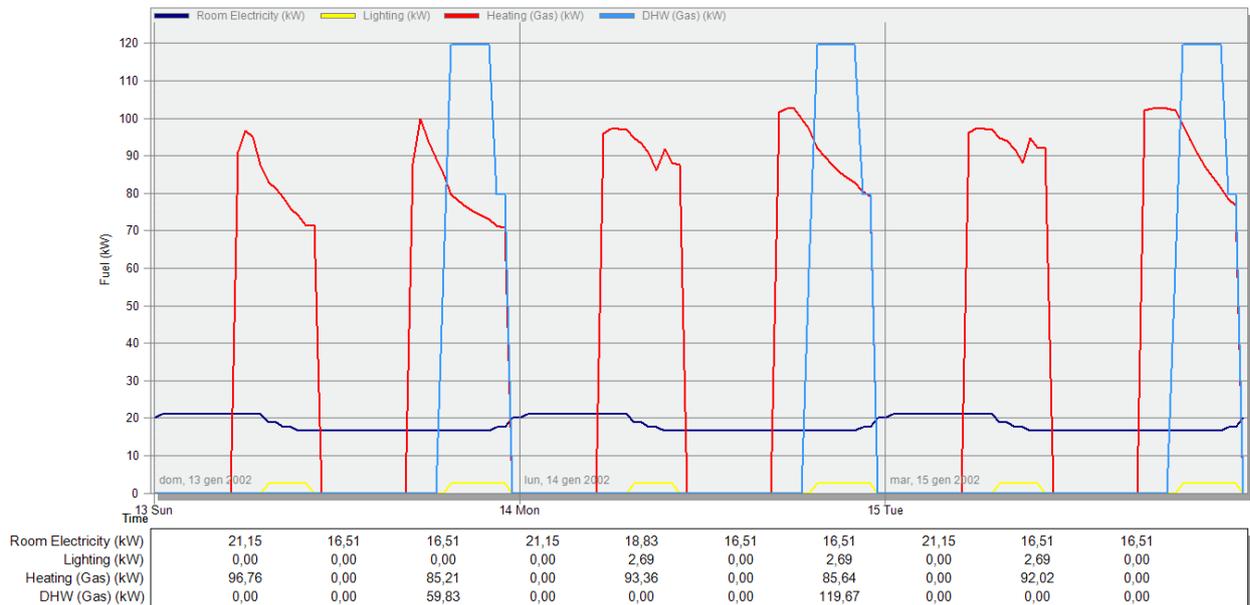


Figura 44: apporti energetici divisi per tipologia di “combustibile” per 13, 14, 15 gennaio [kW] dopo l’efficientamento

Come si vede, la quota “riscaldamento” è quella che ha subito la maggiore diminuzione. Questa infatti, passa dai 380 kW (circa) iniziali ai circa 100 kW successivamente.

Tutto ciò è dovuto al miglioramento dell’involucro grazie all’utilizzo dell’isolamento, delle strutture opache e trasparenti, alla sostituzione degli apparecchi per l’illuminazione con altri ad alta efficienza (led), e alla sostituzione dei vecchi infissi con altri con vetro camera e argon all’interno dell’intercapedine.

Si può osservare, nella figura seguente, anche l’andamento dei guadagni interni in kW:

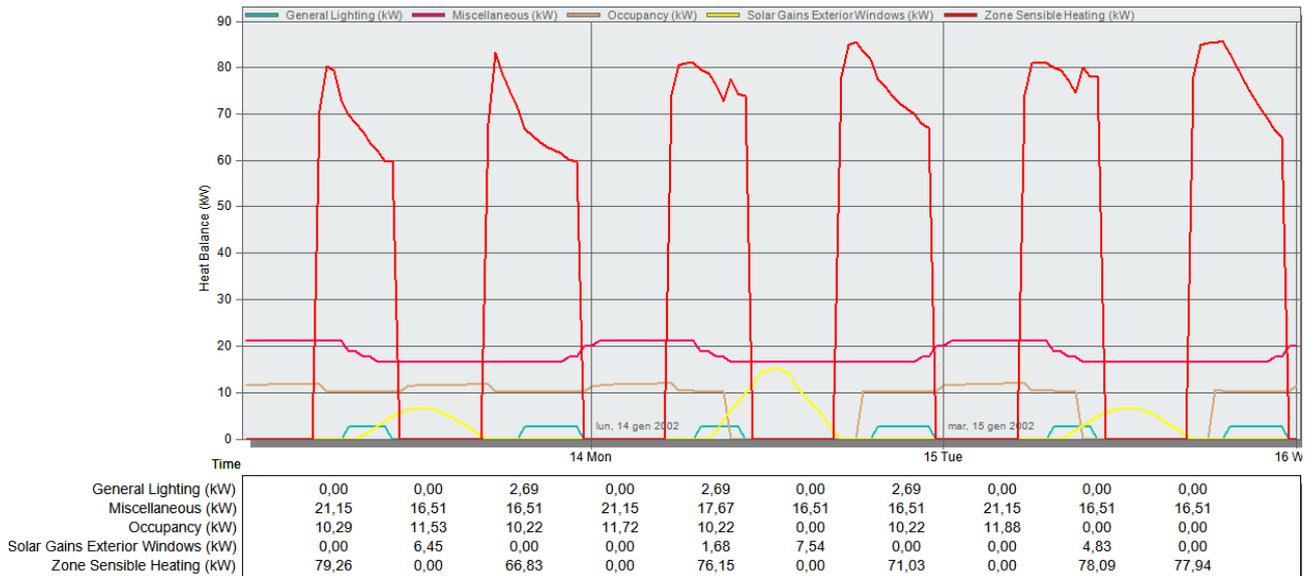


Figura 45: guadagni energetici interni per 13, 14 e 15 gennaio [kW] dopo l'efficientamento

Si riporta il grafico che rappresenta gli andamenti energetici in kWh per il mese di gennaio, e successivamente quello dei guadagni interni.

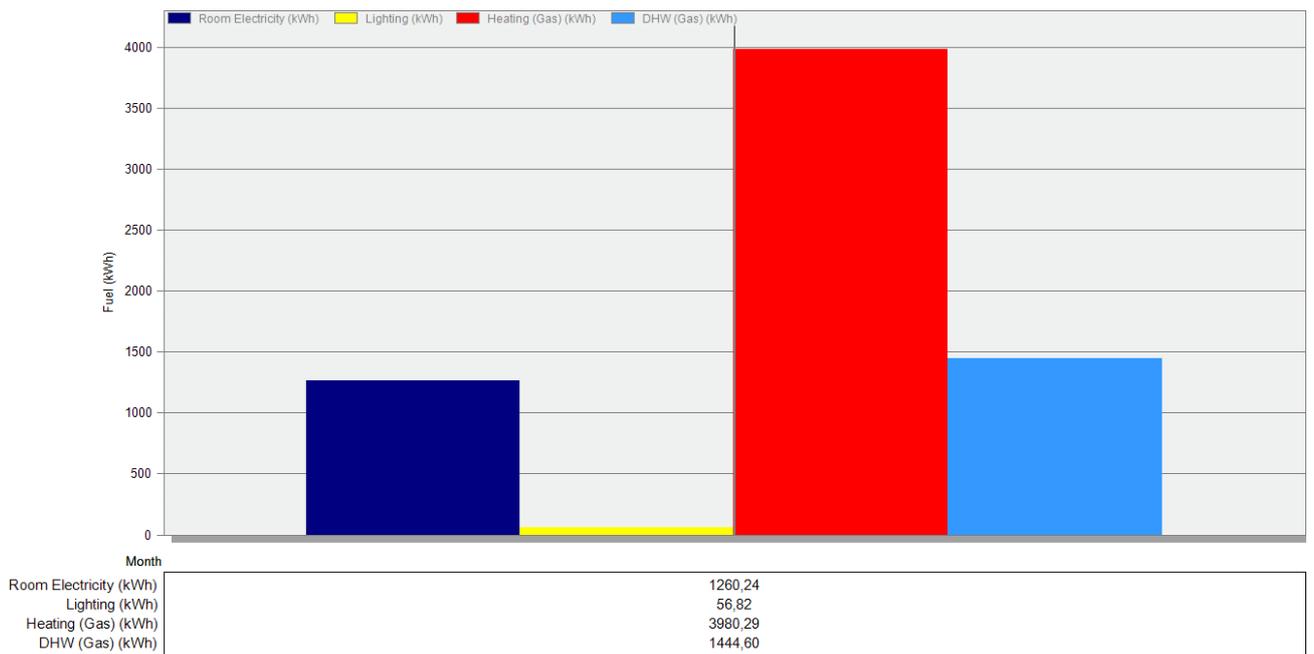


Figura 46: apporti energetici in kWh mese gennaio dopo l'efficientamento

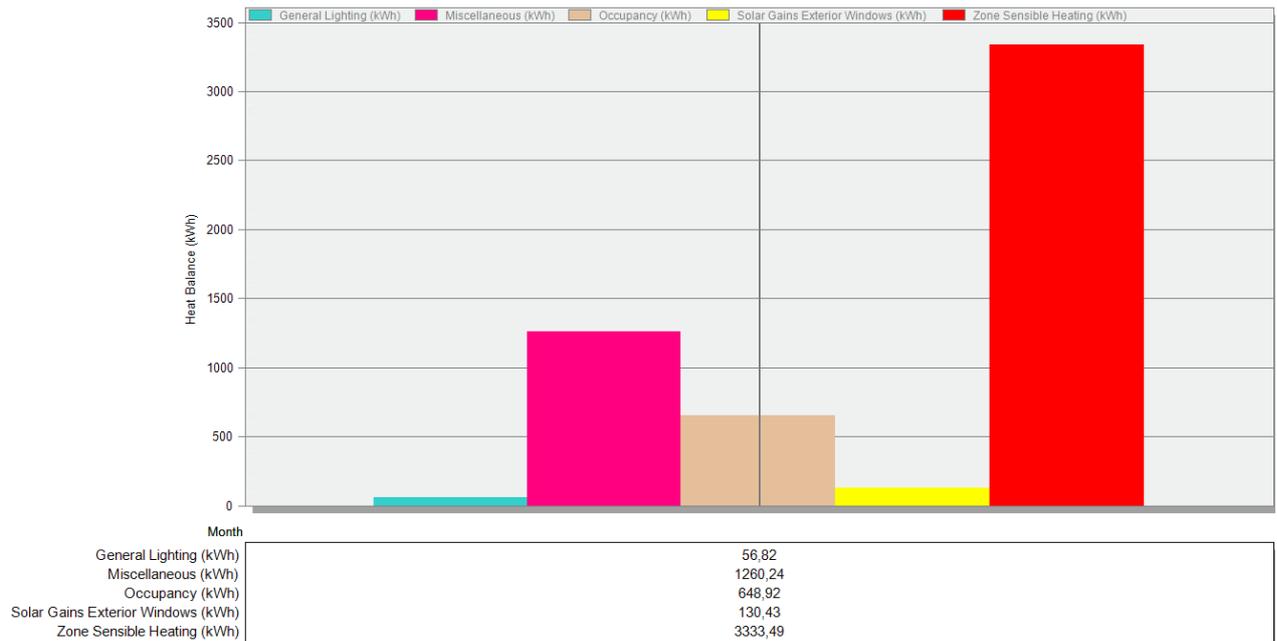


Figura 47: guadagni energetici interni mese di gennaio in kWh dopo l'efficiamento

Infine, come realizzato precedentemente nella prima fase, viene riportato l'andamento totale dei consumi energetici durante tutta la stagione di riscaldamento (15 ottobre-15 aprile).

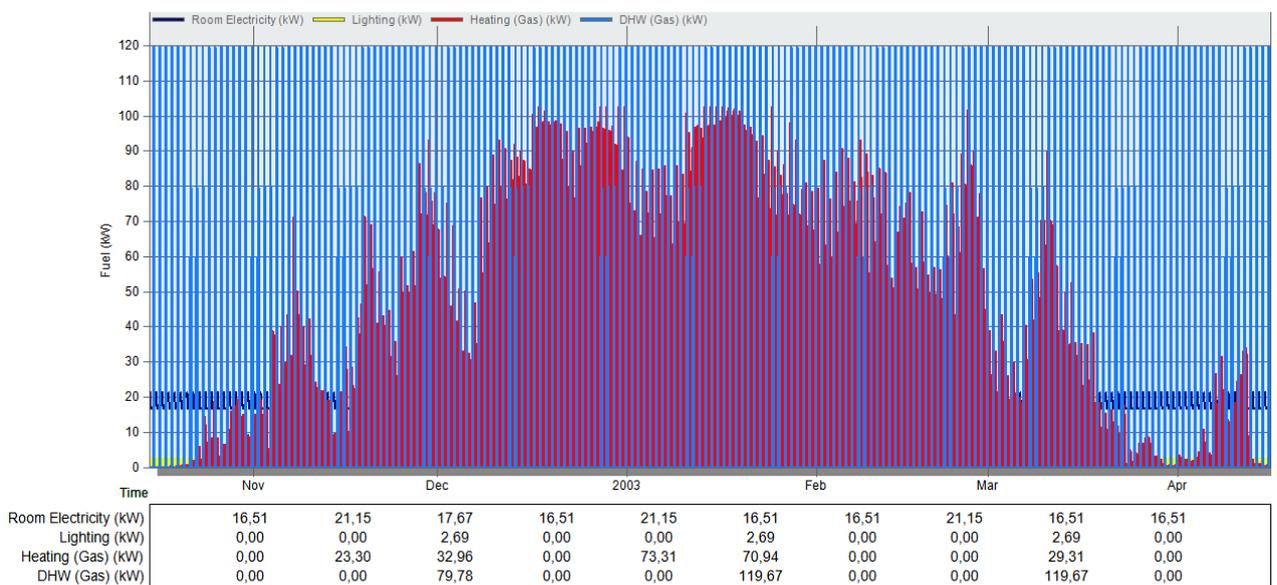


Figura 48: consumi per la durata di tutta la stagione di riscaldamento [kW] dopo l'efficiamento

È possibile invece nei grafici sottostanti, osservare l'andamento della temperatura di comfort e la dispersione termica attraverso l'involucro.

Si può facilmente analizzare come la temperatura non scenda mai al di sotto dei 18,5 gradi centigradi, e come le dispersioni termiche si siano ridotte sensibilmente.

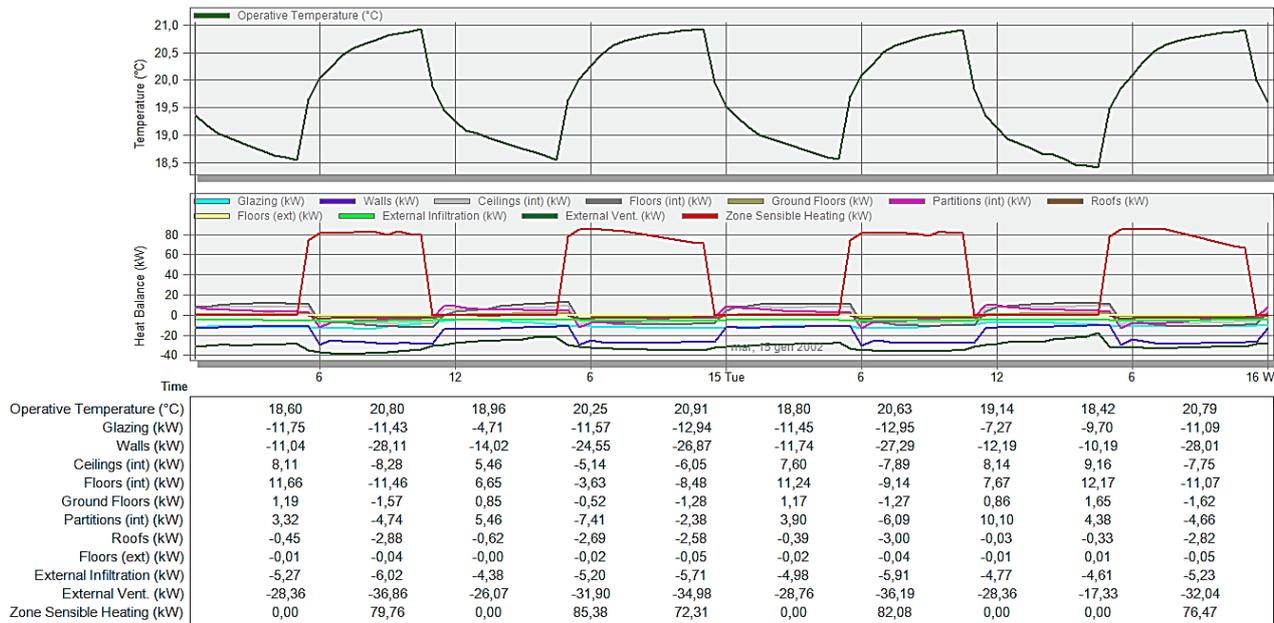


Figura 49: confronto temperatura interna [°C], dispersione attraverso l'involucro e fabbisogno di calore [kW] per 13, 14 e 15 gennaio dopo l'efficientamento

Vengono allo stesso modo, riportati gli andamenti per 13, 14 e 15 luglio.

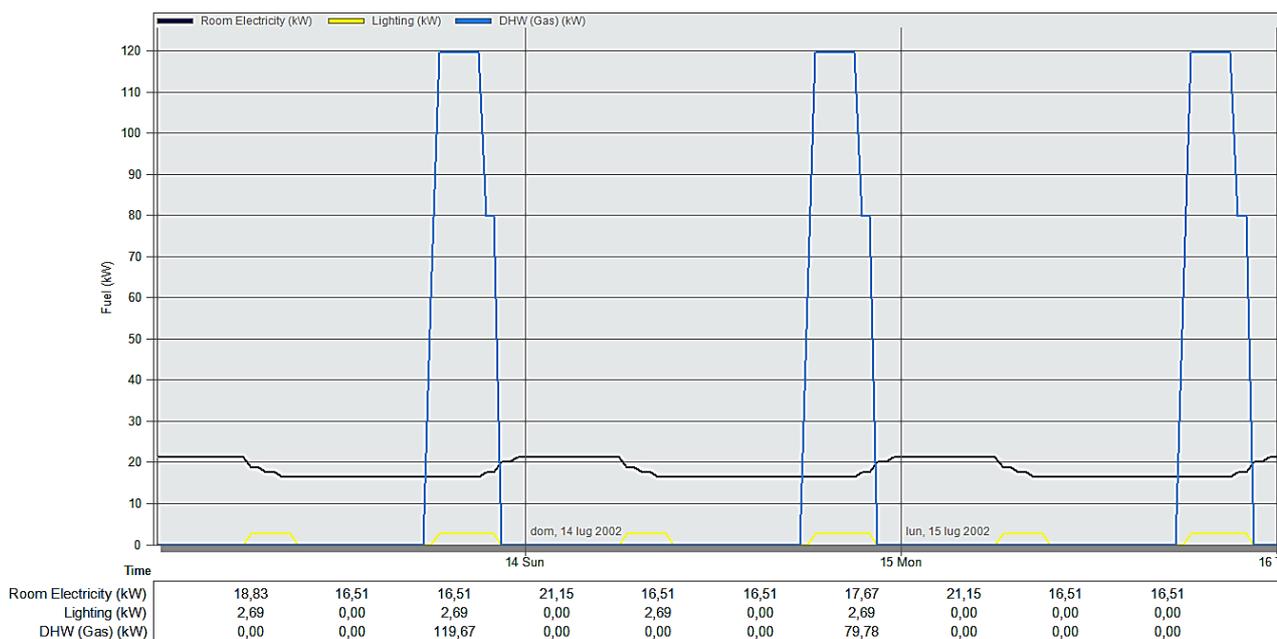


Figura 50: apporti energetici divisi per tipologia di "combustibile" per 13, 14, 15 luglio [kW] dopo l'efficientamento

Come si può osservare dal grafico soprastante, il riscaldamento è assente, e le uniche quote sono quelle per la produzione di acqua calda sanitaria, l'elettricità delle stanze e l'illuminazione.

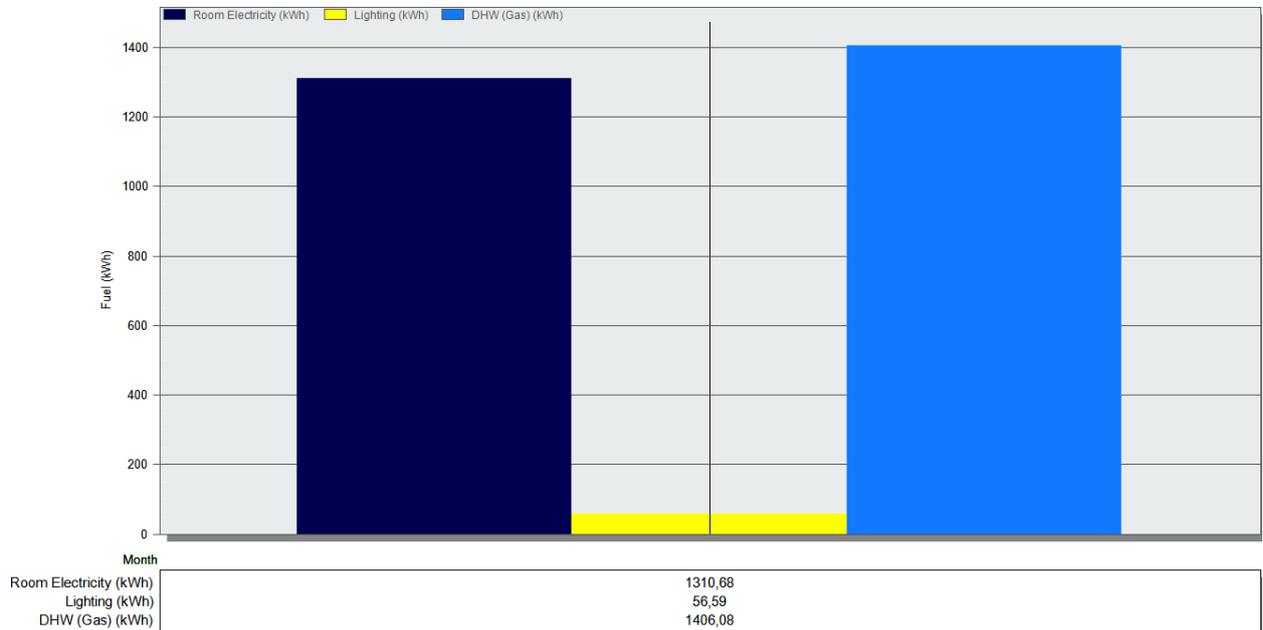


Figura 51: apporti energetici mese di luglio [kWh] dopo l'efficiamento

Si riportano infine gli andamenti dei guadagni energetici e successivamente il grafico degli andamenti delle dispersioni termiche attraverso l'involucro.



Figura 52: guadagni energetici interni per 13, 14 e 15 luglio [kW] dopo l'efficiamento

In questo caso, i guadagni attraverso le strutture trasparenti, derivanti dalla radiazione solare sono molto elevati. Si riporta anche lo stesso andamento ma in kWh, per il mese di luglio.

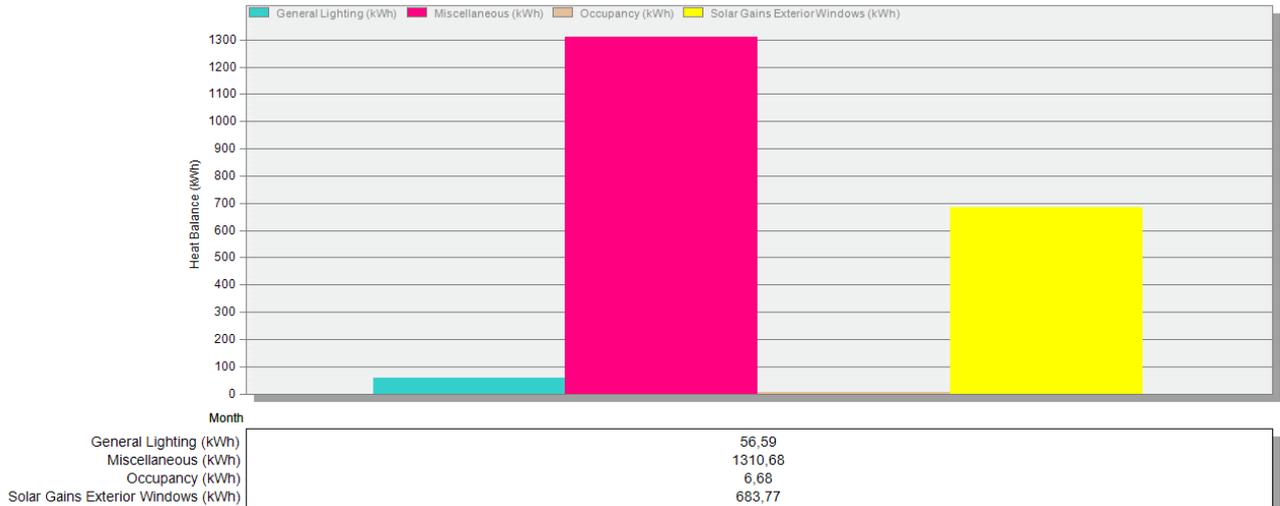


Figura 53: guadagni energetici mese di luglio in kWh dopo l'efficientamento

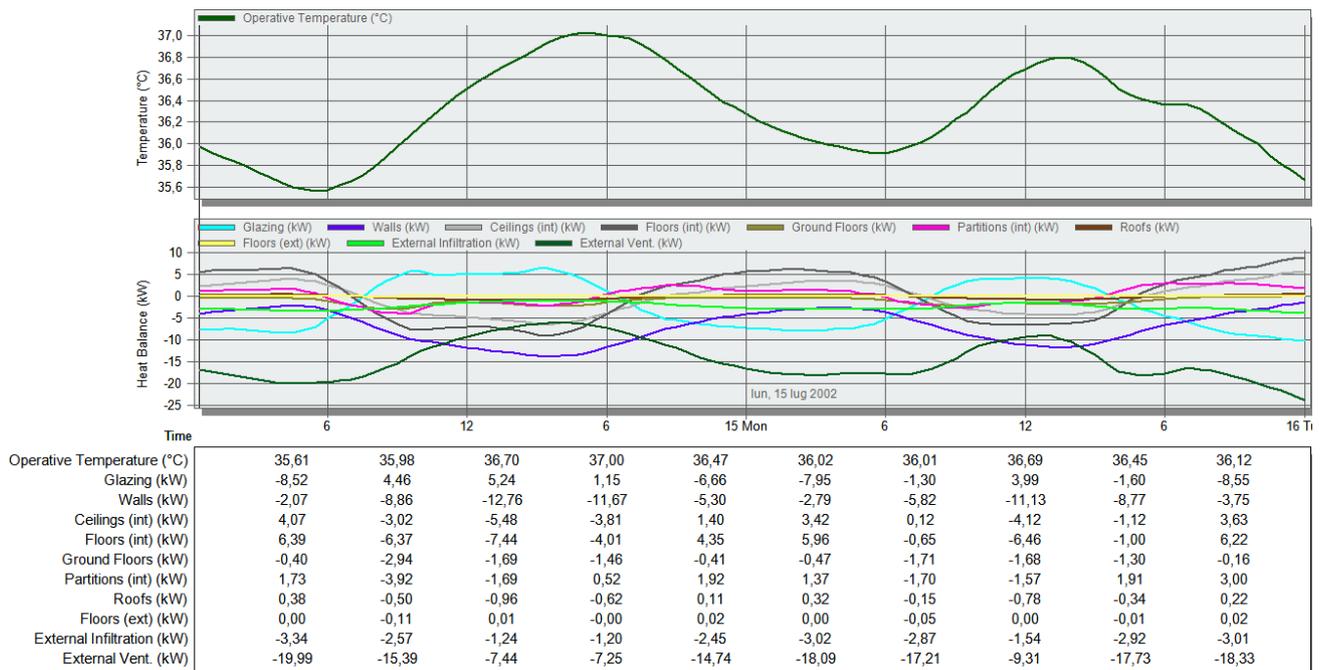


Figura 54: confronto temperatura interna [°C], dispersione attraverso l'involucro [kW] per 13, 14 e 15 luglio dopo l'efficientamento

8.4 Analisi Economica

Dopo aver condotto l’opera di efficientamento e aver ottenuto i risultati, è stato possibile osservare il risparmio energetico conseguito. Questo, può essere tradotto in risparmio economico.

Viene riportato di seguito, il confronto tra il fabbisogno energetico annuale dell’edificio prima e dopo l’efficientamento.

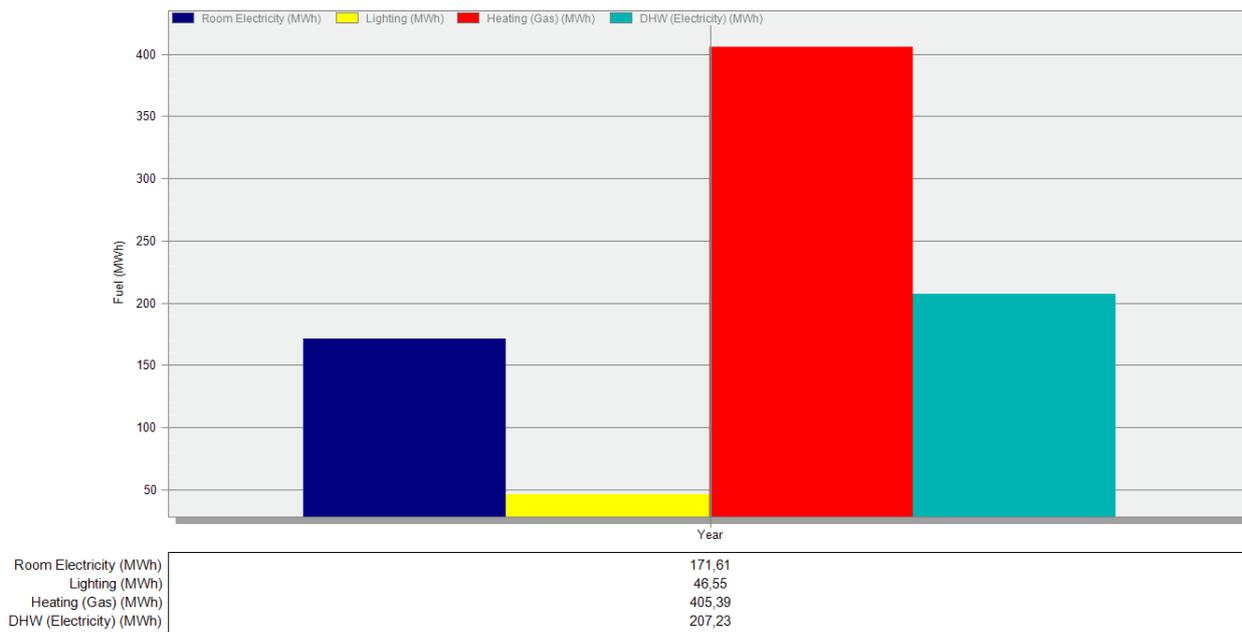


Figura 55: fabbisogno annuale dell’edificio prima dell’efficientamento [MWh]

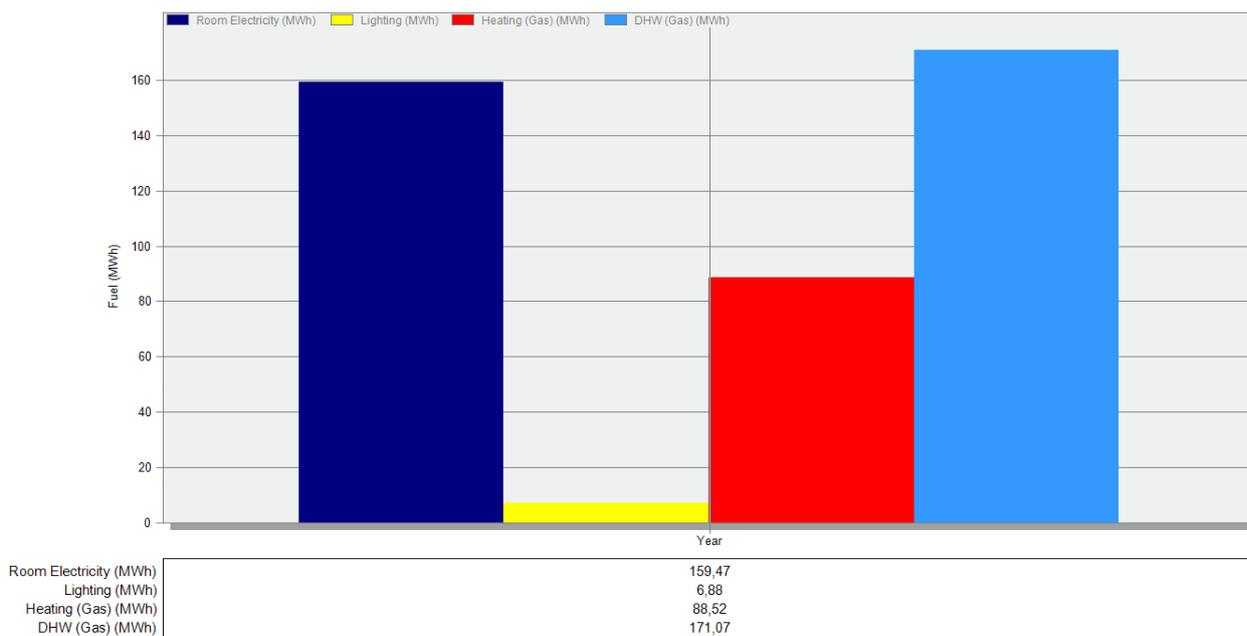


Figura 56: fabbisogno annuale dell’edificio dopo dell’efficientamento [MWh]

Vengono anche riportati gli stessi grafici ma in MWh/m²-anno. Questi sono fondamentali per la classificazione energetica dell'edificio, e per poter usufruire delle detrazioni fiscali IRPEF.

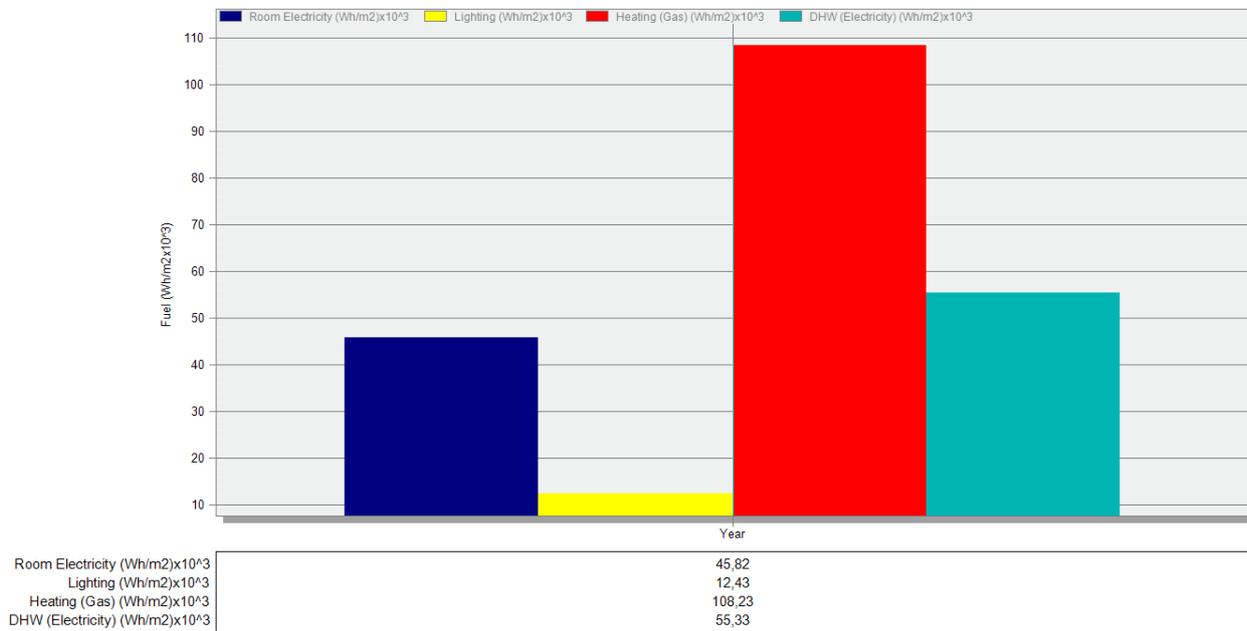


Figura 57: fabbisogno annuale dell'edificio prima dell'efficientamento [Wh/m²]

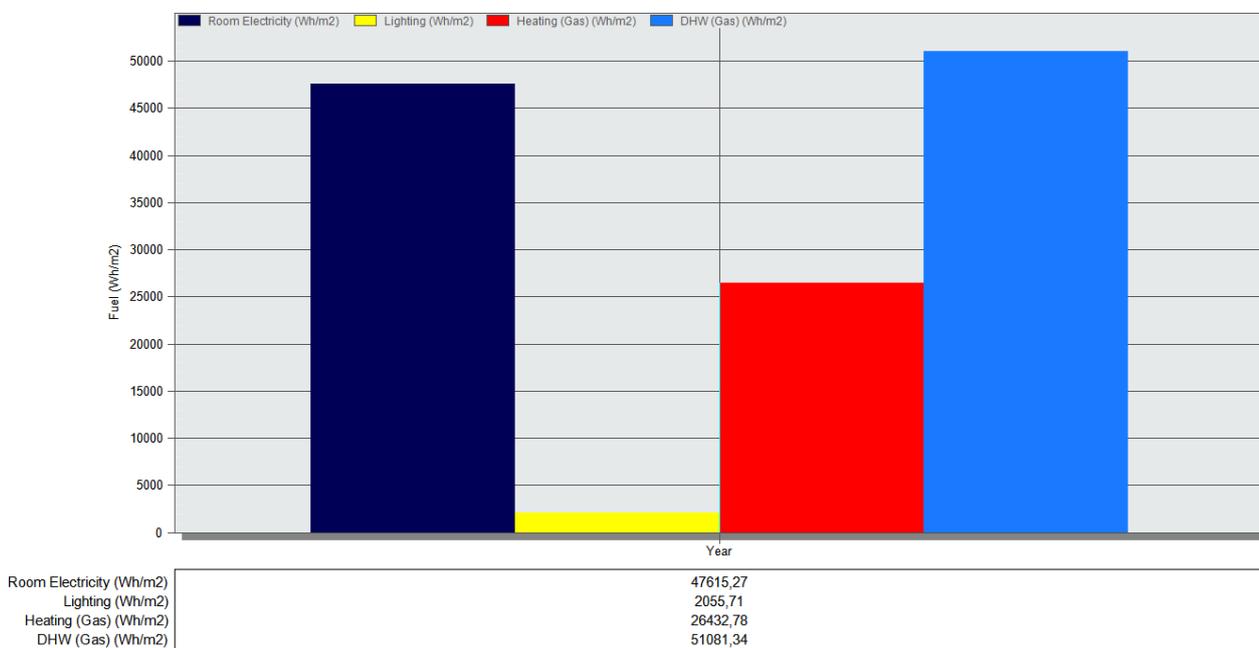


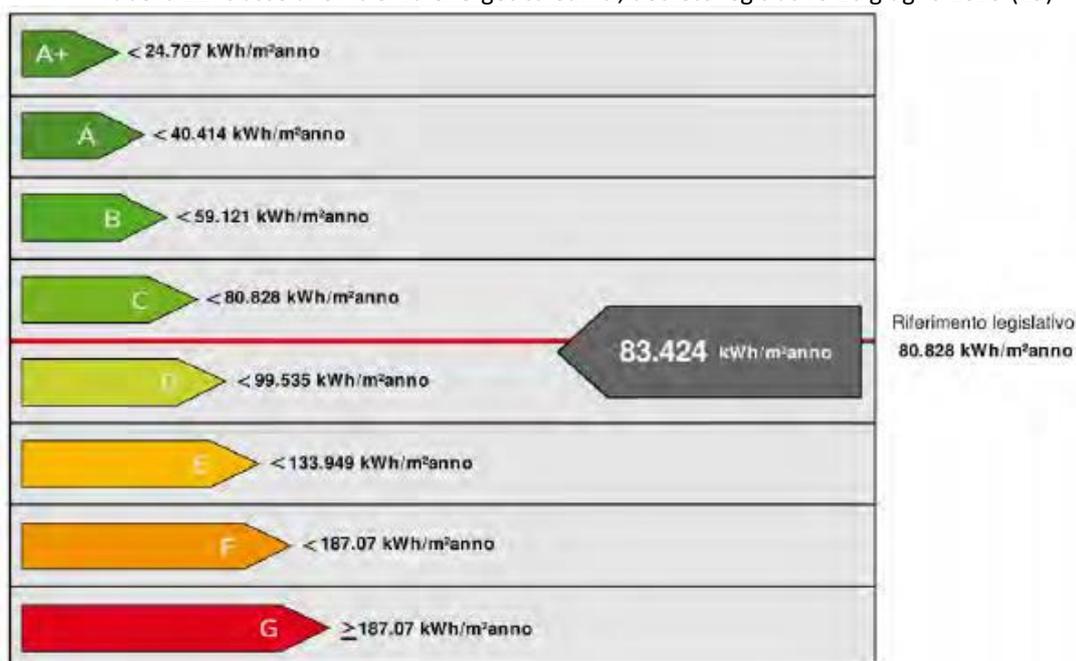
Figura 58: fabbisogno annuale dell'edificio dopo dell'efficientamento [Wh/m²]

Da tale confronto, è facile comprendere come l'opera di efficientamento abbia variato la situazione energetica dell'edificio. Il gas utilizzato per il riscaldamento, ad esempio, da 108,23 kWh/m² si è ridotto fino a 26,43 kWh/m², ossia circa un quarto del consumo iniziale.

Un altro apporto che ha subito una notevole riduzione è l'elettricità per l'illuminazione. Questa, grazie all'utilizzo di luci led ad alta efficienza, si è ridotta da 12,43 kWh/m² a 2,05 kWh/m².

Grazie alla riduzione del consumo annuo di riscaldamento e di ACS, l'edificio è passato dalla classe F alla classe C, secondo quanto riportato dalla tabella seguente, ricavata dal decreto legislativo 26 giugno 2015.

Tabella 22: classe di efficienza energetica edifici, decreto legislativo 26 giugno 2015 (19)



Grazie al confronto sopracitato, è possibile ricavare il “delta risparmio energetico”, ossia quanta energia primaria si può risparmiare dopo aver condotto un'opera di efficientamento.

Questo delta, in kWh, è possibile trasformarlo in termini monetari, moltiplicandolo per il costo (in €/kWh) di ogni fonte energetica.

Innanzitutto, nella seguente tabella, viene riportato l'investimento effettuato per eseguire ogni tipologia di efficientamento, compresa la manodopera.

I prezzi utilizzati si riferiscono al "prezzario Regione Piemonte, anno 2016" (38).

(Si è preferito utilizzare il prezzario Piemonte in quanto più recente, rispetto al prezzario Lombardia, la cui edizione risale all'anno 2011).

Tabella 23: Costo per ogni tipologia di intervento (38)

| Tipologia efficientamento | unità di misura | Valuta | quantità | costo totale |
|---|-----------------|-------------|----------|---------------------|
| Pannello in polistirene espanso (EPS) | Metri q. | € 5,56 | 1005,375 | € 5.589,89 |
| Pannelli isolanti in schiuma polyiso espansa rigida | Metri q. | € 18,99 | 4225,54 | € 80.243,00 |
| Serramenti esterni in PVC pluricamera | Metri q. | € 288,16 | 481,77 | € 138.826,84 |
| Posa in opera di serramenti esterni, finestre e portefinestre, completi di vetrata e telaio | Metri q. | € 40,29 | 481,77 | € 19.410,51 |
| Lampade lineari a LED dimmerabili - 9 - 10W con durata >= 40.000 h | Cad. | € 38,00 | 9 | € 342,00 |
| Apparecchio per illuminazione di emergenza a tecnologia LED | Cad. | € 70,94 | 9 | € 638,46 |
| Caldaia a condensazione completa di tutti gli accessori per garantire il corretto funzionamento - potenza al focolare di 200 kW | Cad. | € 13.763,04 | 1 | € 13.763,04 |
| Totale Investimento | | | | € 258.813,75 |

Le autorità nazionali, per incentivare al risparmio energetico, alla riqualificazione, alla ristrutturazione per ottenere una diminuzione dei consumi energetici, e dunque delle emissioni di gas serra, ha stabilito un piano di incentivazione basato su detrazioni fiscali a cui possono accedere tutti i contribuenti residenti e non, possessori dell'immobile.

Con la legge di Bilancio 2017, per i condomini sottoposti a riqualificazione energetica spetta una detrazione del 70% nel caso in cui gli interventi riguardino l'involucro dell'edificio con un'incidenza superiore al 25% della superficie disperdente lorda, e del 75% quando gli interventi sono diretti a migliorare la prestazione energetica invernale ed estiva, e purché conseguano almeno la qualità media indicata nel decreto del Ministro dello sviluppo economico del 26 giugno 2015. (39)

Per accedere alle detrazioni fiscali del 75%, la riqualificazione dell'edificio, deve comportare un fabbisogno per riscaldamento minore o uguale al valore riportato nella seguente tabella:

Tabella 24: decreto legislativo 11 marzo 2008 (40)

| Rapporto di forma dell'edificio S/V | Zona climatica | | | | | | | | | |
|-------------------------------------|----------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|----------------------------|
| | A | B | | C | | D | | E | | F |
| | <i>fino a</i> 600 GG | <i>a</i> 601 GG | <i>a</i> 900 GG | <i>a</i> 901 GG | <i>a</i> 1400 GG | <i>a</i> 1401 GG | <i>a</i> 2100 GG | <i>a</i> 2101 GG | <i>a</i> 3000 GG | <i>oltre</i> 3000 GG |
| $\leq 0,2$ | 7,7 | 7,7 | 11,5 | 11,5 | 19,2 | 19,2 | 27,5 | 27,5 | 37,9 | 37,9 |
| $\geq 0,9$ | 32,4 | 32,4 | 43,2 | 43,2 | 61,2 | 61,2 | 71,3 | 71,3 | 94,0 | 94,0 |

Inoltre, è riportato nel testo di tale dm: *i valori limite riportati nelle tabelle sono espressi in funzione della zona climatica, e del rapporto di forma dell'edificio S/V, dove:*

a) S, espressa in metri quadrati, è la superficie che delimita verso l'esterno (ovvero verso

ambienti non dotati di impianto di riscaldamento), il volume riscaldato V;

b) V è il volume lordo, espresso in metri cubi, delle parti di edificio riscaldate, definito dalle superfici che lo delimitano.

Per valori di S/V compresi nell'intervallo 0,2 – 0,9 e, analogamente, per gradi giorno (GG)

intermedi ai limiti delle zone climatiche riportati in tabella si procede mediante interpolazione lineare.

Per quanto riguarda l'edificio in questione, tale limite calcolato è pari a 35,11 kWh/m²-anno, e dopo l'efficientamento si ha un consumo pari a 26,43 kWh/m²-anno, dunque, si rientra perfettamente nei limiti di legge.

Queste detrazioni valgono per spese effettuate tra l'1° gennaio 2017 e il 31 dicembre 2021, e vanno calcolate su un ammontare complessivo non superiore a 40.000 euro moltiplicato per il numero delle unità immobiliari che compongono l'edificio. (39)

Tabella 25: Detrazioni massime per tipologia di intervento (39)

| DETRAZIONE MASSIMA PER TIPOLOGIA DI INTERVENTO | |
|--|--|
| Tipo di intervento | Detrazione massima |
| riqualificazione energetica di edifici esistenti | 100.000 euro |
| involucro edifici (per esempio, pareti, finestre - compresi gli infissi - su edifici esistenti) | 60.000 euro |
| installazione di pannelli solari | 60.000 euro |
| sostituzione degli impianti di climatizzazione invernale | 30.000 euro |
| acquisto e posa in opera delle schermature solari elencate nell'allegato M del decreto legislativo n. 311/2006 (solo per gli anni 2015, 2016 e 2017) | 60.000 euro |
| acquisto e posa in opera di impianti di climatizzazione invernale dotati di generatori di calore alimentati da biomasse combustibili (solo per gli anni 2015, 2016 e 2017) | 30.000 euro |
| dispositivi multimediali per il controllo a distanza degli impianti (solo per gli anni 2016 e 2017) | non previsto limite massimo |
| interventi su parti comuni degli edifici condominiali per i quali si può usufruire della detrazione del 70 o del 75% | 40.000 euro moltiplicato per il numero delle unità immobiliari che compongono l'edificio |

Dunque, secondo la tabella su riportata, è possibile detrarre il 75 % dall'investimento iniziale.

Allo stesso modo, con la legge di bilancio del 2018, per i singoli immobili costituenti l'intero edificio, è possibile detrarre il 50%, con una detrazione massima di 60.000 euro, per interventi riguardanti la sostituzione di infissi delimitanti il volume

riscaldato, che rispettino i requisiti minimi di trasmittanza termica previsti dal decreto del 26 gennaio 2010. Come visto in precedenza, la sostituzione degli infissi rientra perfettamente nei limiti di legge. Dunque, supponendo che tutte le unità immobiliari decidano di sostituire gli infissi, dalla spesa iniziale totale, è possibile detrarre il 50%. Tale somma, chiaramente, va ripartita tra i singoli immobili, in funzione dei millesimali.

Si riporta di seguito, una tabella di chiarimento in cui vengono riportati gli investimenti successivi alle suddette detrazioni fiscali IRPEF.

Tabella 26: tabella riassuntiva investimenti, con e senza detrazioni

| Investimento Iniziale TOTALE | Investimento Iniziale (escluso infissi) | Investimento per sostituzione infissi | Investimento (senza infissi) dopo la detrazione del 75% | Investimento infissi dopo la detrazione del 50% | Investimento Iniziale (riqualificazione + infissi) TOTALE dopo le detrazioni |
|-------------------------------------|--|--|--|--|---|
| € 258.813,75 | € 100.576,39 | € 158.237,36 | € 25.144,10 | € 128.237,36 | € 153.381,45 |

L'investimento iniziale, produce in termini energetici, un risparmio pari alla differenza dei consumi iniziali meno i consumi successivi all'efficientamento. Moltiplicando questo valore per il costo al kWh di ogni singola fonte energetica, si ottiene il risparmio economico ottenuto.

Nella tabella successiva, vengono riportati i consumi energetici iniziali, i consumi energetici finali, divisi per tipologia di fonte energetica, e quelli totali.

Tabella 27: consumi energetici prima e dopo l'efficientamento

| | Room Electricity (MWh) | Light (MWh) | Heating (MWh) | DHW (MWh) | Elettricità TOTALE (kWh) | Gas TOTALE (kWh) |
|---|-------------------------------|--------------------|----------------------|------------------|---------------------------------|-------------------------|
| Consumi energetici annui prima l'efficientamento | 171,61 | 46,55 | 405,39 | 207,23 | 425.390 | 405.390 |
| Consumi energetici annui dopo l'efficientamento | 159,47 | 6,88 | 88,52 | 171,07 | 166.350 | 259.590 |

In aggiunta, viene riportata la tabella con i costi energetici (per tipologia di fonte), il delta risparmio sopracitato in kWh e in euro.

Per la conversione del consumo di gas da kWh a Sm³, è stato considerato il potere calorifico superiore, fornito dal sito della società *Snam*, pari a 39,4 MJ/Sm³. (41)

Tabella 28: costo fonte, delta risparmio in kWh e in euro

| Costo Elettricità €/kWh (tariffa monoraria) | Costo Gas €/Sm ³ | DELTA RISPARMIO Elettricità in kWh | DELTA RISPARMIO GAS in kWh | DELTA RISPARMIO Elettricità in EURO | DELTA RISPARMIO GAS in EURO | DELTA RISPARMIO TOTALE IN EURO |
|---|-----------------------------------|---|----------------------------------|--|--------------------------------------|---|
| 0,179441 | 0,270431 | 259.040 | 145.800 | € 46.482,40 | € 5.238,85 | € 51.721,2 |

Dunque, in seguito all'opera di riqualificazione energetica ed efficientamento dell'intera struttura, si può ricavare un risparmio di circa 51.700 euro.

Si riporta infine, una tabella riassuntiva, in cui si riportano tutti i valori sopracitati.

Tabella 29: tabella riassuntiva investimento e risparmio economico

| Investimento Iniziale (escluso infissi) | Investimento per sostituzione infissi | Investimento (senza infissi) dopo la detrazione del 75% | Investimento dopo la detrazione del 50% | DELTA RISPARMIO Elettricità in EURO | DELTA RISPARMIO GAS in EURO | DELTA RISPARMIO TOTALE IN EURO |
|---|---|---|--|--|-----------------------------------|--------------------------------------|
| € 100.576,39 | € 158.237,36 | € 25.144,10 | € 128.237,36 | € 46.482,40 | € 5.238,85 | € 51.721,2 |

Ultima fase del presente lavoro, è quella condotta per la smartizzazione dell'edificio, per indagare gli ulteriori vantaggi che possono essere raggiunti.

9. SMARTIZZAZIONE, RISULTATI OTTENUTI E ANALISI ECONOMICA

9.1 Smartizzazione del Modello

La terza fase del presente lavoro, è caratterizzato dalla *smartizzazione* del modello in esame, cioè dall’inserimento di apparecchiature e sistemi smart che possano rendere l’edificio “intelligente”, che possano produrre un ulteriore risparmio energetico, e che rendano più consapevole e razionale l’utilizzo delle fonti energetiche.

Come prima cosa, verrà inserito un impianto fotovoltaico, che connesso alla rete, alimenterà in parte, i consumi comuni del condominio. Successivamente verranno inseriti elettrodomestici di classe A++ controllati da remoto, verrà poi inserito il “tetto verde”, le luci temporizzate, dimmerabili e le veneziane automatizzate, che si attivano in funzione della radiazione solare, e le termovalvole smart, anch’esse controllabili da remoto.

Tutti questi dispositivi, produrranno una netta diminuzione dei consumi energetici, delle emissioni di CO₂ e renderanno l’edificio un edificio ad alta efficiente, e smart.

9.1.1 Impianto Fotovoltaico

Un impianto a fonte rinnovabile, è un elemento imprescindibile quando si tratta di smart building. Caratteristiche principali, infatti, di tale edificio, sono l’elevata efficienza, i bassi consumi, la bassa produzione di gas serra, e la produzione di energia da fonti rinnovabili. Inoltre, un edificio intelligente, dovrebbe essere indipendente, autonomo e autosufficiente.

Purtroppo, tutto ciò non sempre è realizzabile. Allora, si prova a realizzare un edificio che possa il più possibile avvicinarsi ad un edificio smart.

In questo caso, è stato scelto un impianto fotovoltaico che possa soddisfare solo in parte il fabbisogno energetico dell’edificio. È necessario specificare “in parte” in quanto l’area del tetto a disposizione e il numero degli appartamenti (52

appartamenti), non consentono il dimensionamento dell'impianto per coprire il totale fabbisogno del palazzo.

Infatti, per riuscire a coprire tutta la richiesta energetica sarebbe necessaria una superficie troppo elevata. Di conseguenza, si è optato per il dimensionamento dell'impianto fotovoltaico, piuttosto che un'altra tipologia, per riuscire ad abbattere le spese condominiali di elettricità: ascensori, luci scala, citofoni, pompe acqua.

Per i consumi degli utilizzatori presi in considerazione, è possibile fare riferimento alla tabella sottostante, trovata in letteratura:

Tabella 30: consumi utilizzatori parti comuni condominio

| Tipo utilizzatore | Periodo anno | Media ore di lavoro giorno | Potenza media[kW] | Consumi giorno[kWh] |
|-------------------|--------------|----------------------------|-------------------|---------------------|
| Ascensore1 | tutto l'anno | 3 | 3,3 | 9,9 |
| Ascensore2 | tutto l'anno | 3 | 3,3 | 9,9 |
| Luci scala | tutto l'anno | 5 | 0,6 | 3 |
| Luci di emergenza | tutto l'anno | 24 | 0,1 | 2,4 |
| Citofoni | tutto l'anno | 24 | 0,2 | 4,8 |
| Antenne | tutto l'anno | 24 | 0,3 | 7,2 |
| Autoclave | tutto l'anno | 4 | 2 | 8 |
| Totale | | | 9,8 | 45,2 |

Il consumo giornaliero delle parti comuni al condominio è di circa 45 kWh e quello annuale è di circa 16.498 kWh.

L'impianto fotovoltaico scelto è un impianto SunPower, monocristallino ad altissima efficienza. La potenza nominale di 360 Wp, del modello *Serie X22-360*,

permettere di raggiungere un'efficienza pari a 22,2. La cella di tale tecnologia è l'unica ad essere costruita su una solida base di rame, la sua resistenza e durabilità negli anni, permette di assorbire elevata radiazione, aumentando in tal modo, l'efficienza dell'impianto.

Si riporta in allegato la scheda tecnica di tale modulo.

Inoltre, si è scelto per tale scopo, un inverter SolarEdge SE15K + WiFi + ottimizzatori da 15 kW, di potenza massima, compreso di sistema di fissaggio e quadri elettrici.

(42)

Come descritto in precedenza, l'area della copertura a disposizione per l'installazione dell'impianto, è abbastanza ridotta. Questa è pari a circa 110 mq, e si è deciso di ricoprirla il più possibile. Il numero dei pannelli che si è ipotizzato di installare è uguale a 40.

In funzione delle condizioni sopracitate, l'impianto ha una produzione annuale pari a circa 20 kWh.

Si riportano successivamente, nel paragrafo "Risultati delle Simulazioni" e "Analisi Economica", il grafico della produzione dell'impianto e il costo dei moduli e inverter.

9.1.2 Tetto Verde

L'installazione sulla copertura del tetto verde, ha molteplici funzioni e vantaggi, ed è una caratteristica fondamentale per un edificio ecosostenibile e smart.

Innanzitutto, è un ottimo isolante naturale dunque produrrà un notevole abbassamento dei consumi energetici dell'edificio. In secondo luogo, è un ottimo impermeabilizzante e protegge la struttura dalle infiltrazioni. Un ulteriore importante vantaggio, è che permette l'abbassamento delle temperature in vicinanza del tetto. Infatti, è noto che la vegetazione sottrae energia termica dagli ambienti circostanti. Questo è molto importante per la riduzione dell'effetto *Urban Heat Island*, ossia l'effetto isola di calore, l'innalzamento delle temperature dei centri urbani. Infine, le piante permettono di depurare l'aria dall'inquinamento e

polveri sottili, un uso intensivo dei tetti verdi dunque, permetterebbe un elevata diminuzione della loro concentrazione. (43)

È stato scelto per tale scopo, un kit completo, dal fornitore *Bauder*, per prima realizzazione di tetto verde. Il prezzo è riportato successivamente.

9.1.3 Elettrodomestici e termovalvole controllati da remoto

L'edificio smart per eccellenza, è quell'edificio ove ogni sistema è interconnesso con gli altri. Grazie a internet e app tecnologiche, ogni dispositivo può essere controllato anche a distanza.

Tutto ciò permette una sostanziale riduzione dei consumi energetici, e in maniera centralizzata si ha la possibilità, in tempo reale, di ottenere informazioni non solo sullo stato di tutti i dispositivi collegati, ma anche sull'andamento dei consumi in modo da individuare le aree critiche, su cui poi agire. Inoltre, si può ottenere una riduzione della CO2 e un aumento del livello di comfort ambientale. (44)

Per tale scopo gli elettrodomestici scelti, controllabili da remoto grazie ad una semplice rete wifi, sono: lavatrice, lavastoviglie ed asciugatrice tutti della casa produttrice *Candy*. I prezzi verranno riportati successivamente.

Allo stesso modo, viene ipotizzata l'installazione di termovalvole elettroniche controllabili da remoto.

Già il decreto legislativo del 2015 impone l'installazione di termovalvole e la contabilizzazione dei consumi energetici, quelle scelte per la smartizzazione dell'edificio possono essere collegata al wifi e controllate tramite app, quindi posseggono un ulteriore vantaggio: il controllo a distanza.

La tipologia scelta appartiene alla casa produttrice *Netatmo*. I prezzi verranno indicati in seguito.

9.1.4 Luci temporizzate e dimmerabili e veneziane smart

Le luci dimmerabili posseggono un particolare componente che è in grado di attenuare e gestire la potenza assorbita: il dimmer.

Grazie a questa tecnologia, si potrà ridurre il consumo dell'illuminazione. Inoltre, con l'utilizzo di lampadine smart a led, si potrà controllare non solo l'intensità luminosa ma anche l'accensione a distanza.

La tipologia scelta è quella della casa produttrice *Belkin*. I prezzi verranno indicati in seguito.

Le veneziane smart, grazie ad una piccola stazione meteo con cui sono collegate, riescono a percepire le condizioni climatiche esterne e soprattutto la radiazione solare diretta incidente. In questo modo, in funzione di quanta radiazione incide su di esse, controllano l'apertura o meno.

Il loro utilizzo ha il vantaggio di mantenere un livello di comfort interno e di temperatura ottimali. In tale modo si avrà un conseguente risparmio per climatizzazione invernale (o estiva).

La tipologia scelta è quella della casa produttrice *MySmartBlinds*. I prezzi verranno indicati in seguito.

9.1.5 Risultati delle Simulazioni

Dopo aver descritto tutte le applicazioni smart scelte, queste vengono impostate (per quanto possibile) su Design Builder, e successivamente vengono lanciate le simulazioni come fatto precedentemente.

Le differenze principale rispetto al progetto di efficientamento su Design Builder sono: l'installazione dell'impianto fotovoltaico, con tutte le sue caratteristiche costruttive e tecnologiche, l'inserimento delle schermate smart, le luci dimmerabili a basso consumo, gli elettrodomestici a bassi consumi, e l'installazione del *green roof*, ossia il tetto verde.

Si riporta di seguito, l'andamento del comfort interno, dei consumi energetici e l'andamento della produzione annua dell'impianto, in kWh e in kWh/m²-anno.

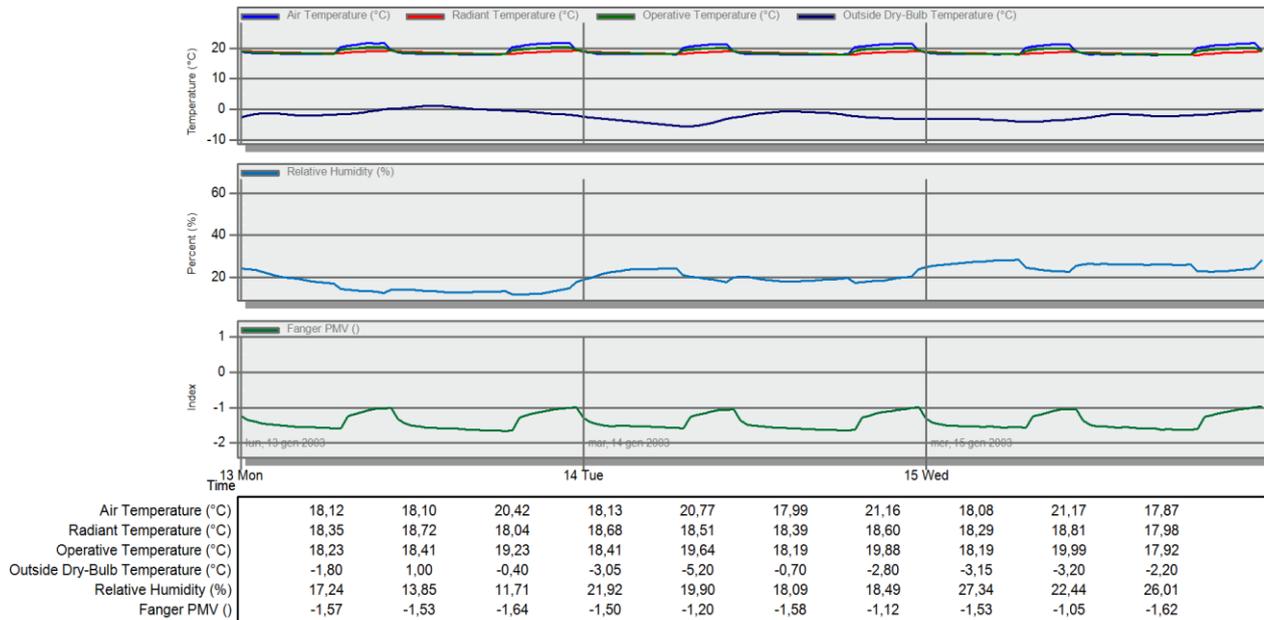


Figura 59: andamento temperature [°C], umidità relativa [%] e indice di Fanger per 13, 14 e 15 gennaio dopo la smartizzazione

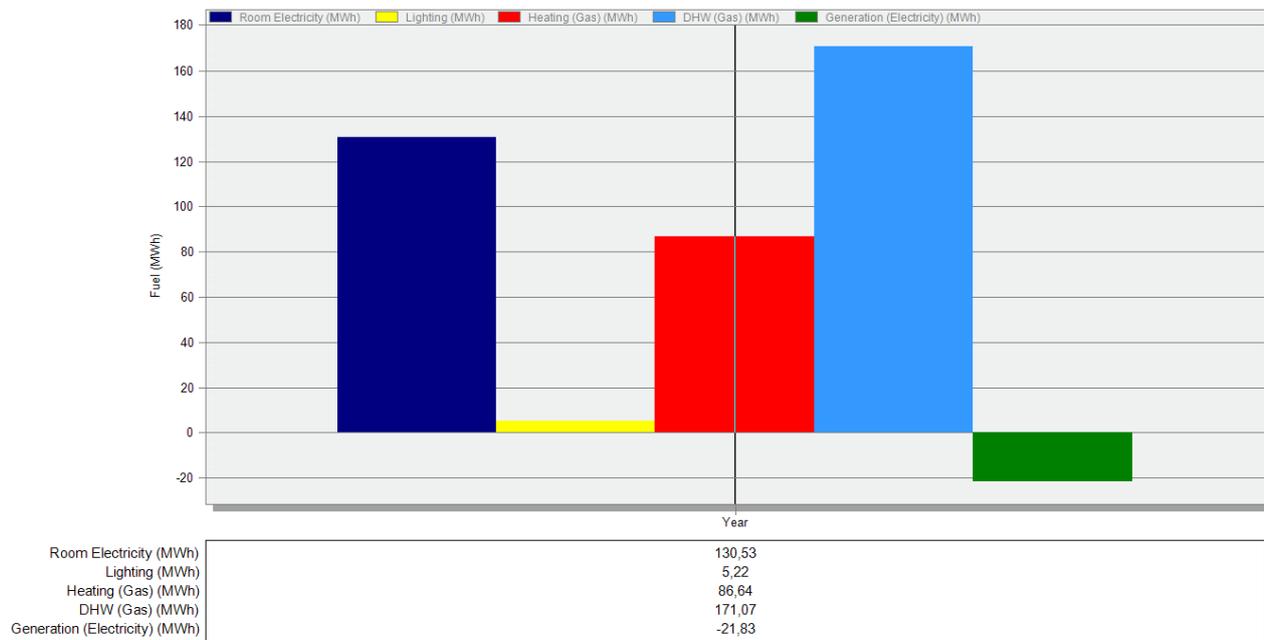


Figura 60: andamento annuale dei consumi energetici e della produzione da fotovoltaico dopo la smartizzazione [MWh]



Figura 61: andamento annuale dei consumi energetici e della produzione da fotovoltaico dopo la smartizzazione [Wh/m2]

Come è possibile osservare, la quota riscaldamento si è ulteriormente ridotta da circa 26,43 kWh/m² a 25,87 kWh/m². Ciò è dovuto soprattutto all’effetto isolante del tetto verde.

Per quanto riguarda la produzione annua dell’impianto fotovoltaico, si può osservare dal grafico successivo, come questa riesca a soddisfare il fabbisogno energetico delle parti comuni del condominio.

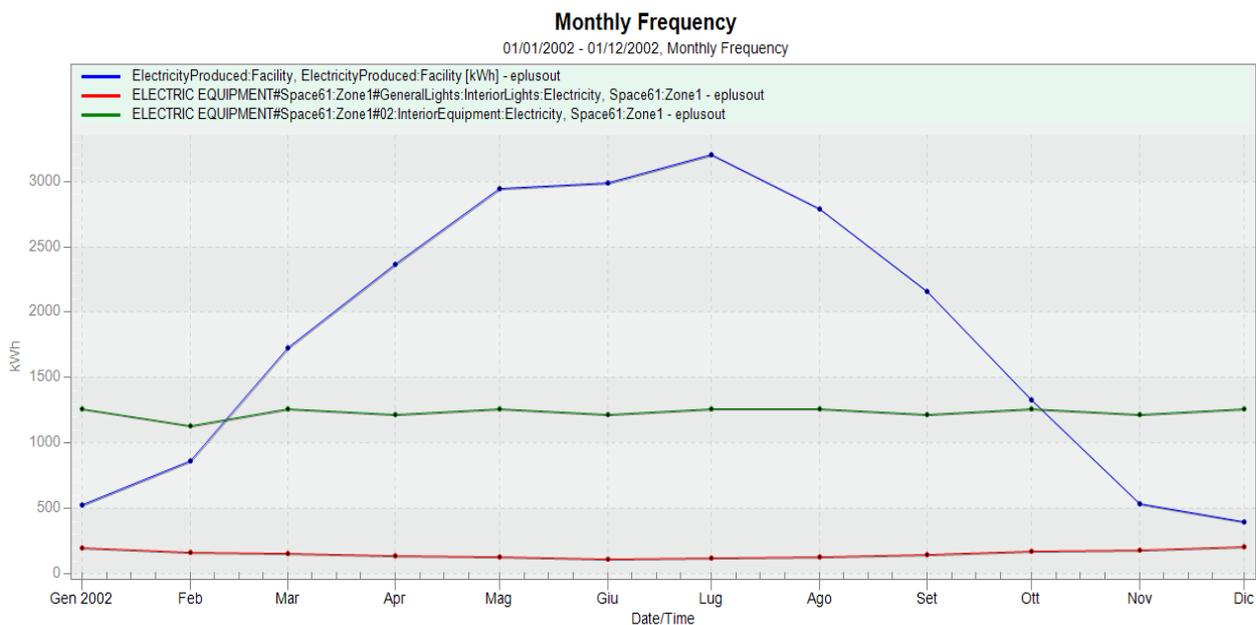


Figura 62: produzione fotovoltaica annua e consumi energetici parti comuni dell’edificio [kWh]

Solamente nei mesi di gennaio, novembre e dicembre, l’impianto non riuscirà a coprire il fabbisogno richiesto, e sarà dunque costretto a prelevare dalla rete, oppure, una soluzione alternativa, potrebbe essere quella di adeguare la curva di carico di tali mesi, diminuendo i consumi (ad esempio diminuendo la potenza dell’illuminazione in quei giorni).

Come realizzato nelle fasi precedenti, si riportano gli andamenti dei consumi e dei guadagni interni del 13,14, 15 gennaio e del 13, 14 e 15 luglio, sia in kW che in kWh, ponendo attenzione anche alla produzione dell’impianto PV.

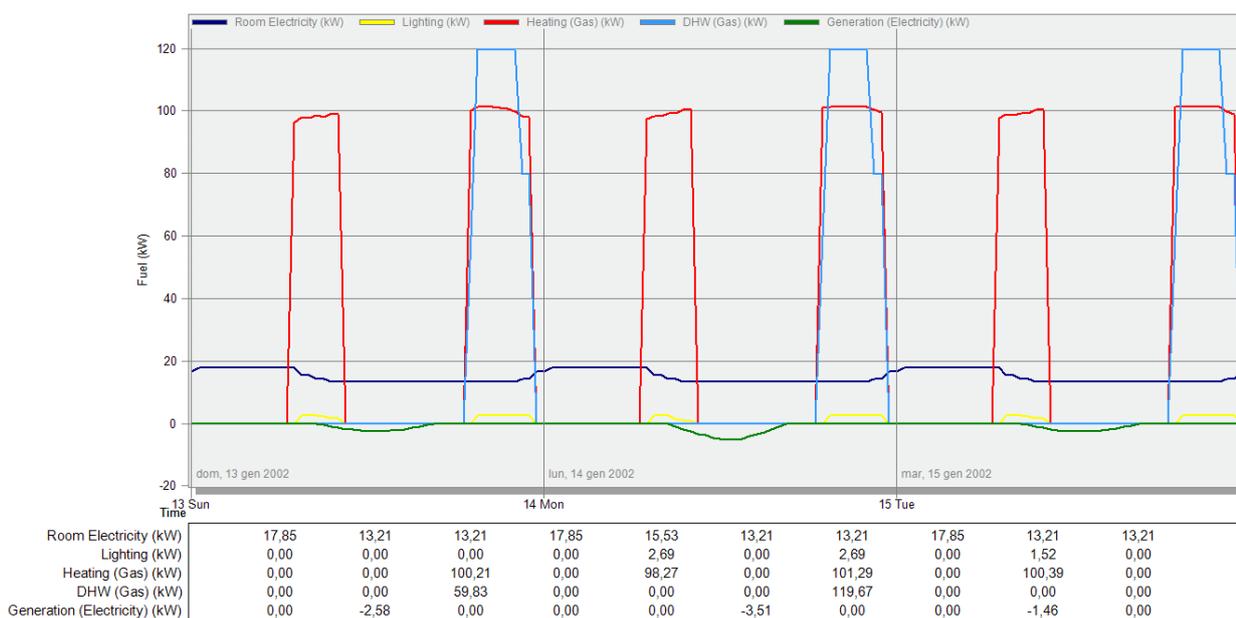


Figura 63: apporti energetici divisi per tipologia di “combustibile” per 13, 14, 15 gennaio [kW] dopo la smartizzazione

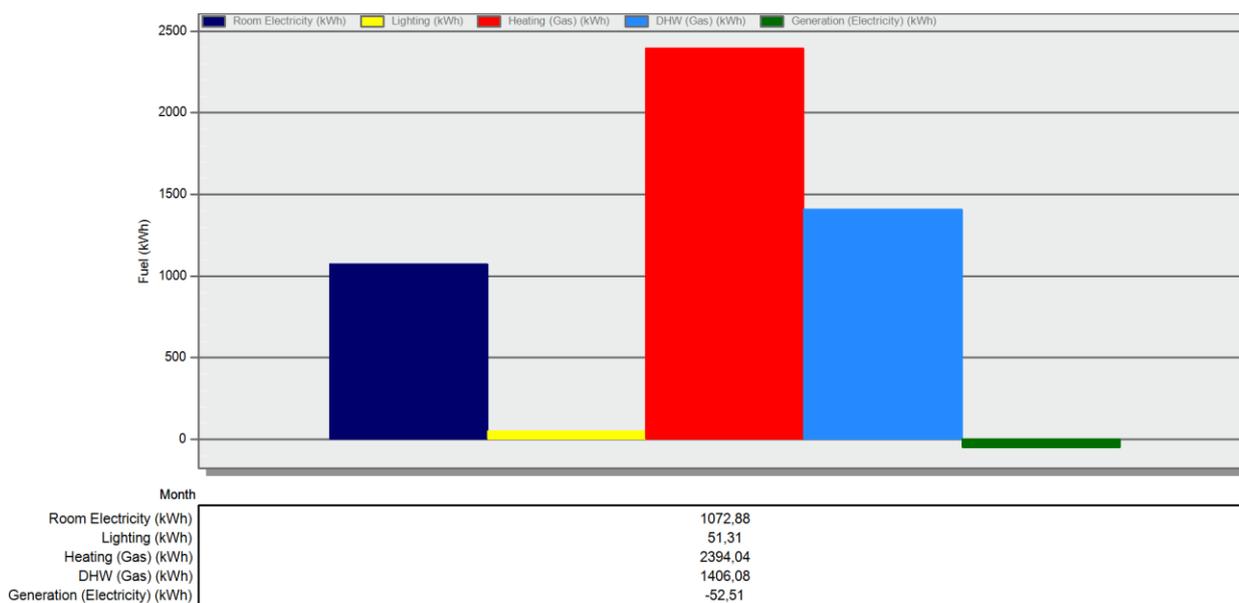


Figura 64: apporti energetici divisi per tipologia di “combustibile” mese gennaio in kWh dopo la smartizzazione

Analogamente, si possono osservare i guadagni interni, in kW e kWh, nelle figure successive.

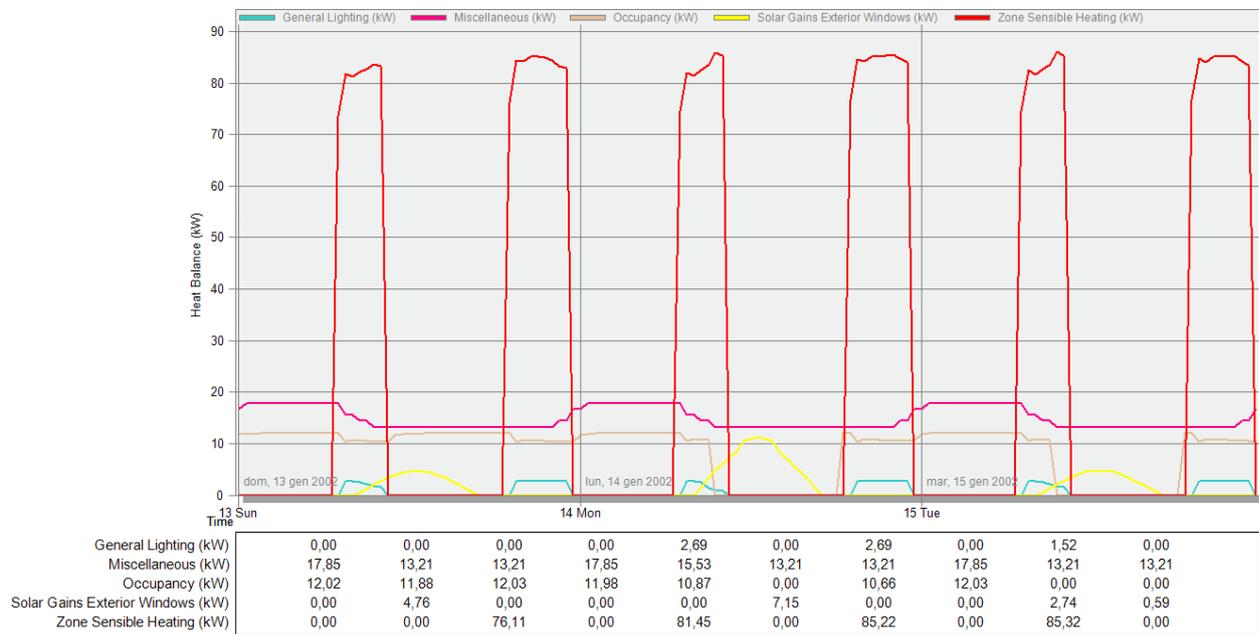


Figura 65: Figura 66: guadagni energetici interni per 13, 14 e 15 gennaio [kW] dopo la smartizzazione



Figura 67: guadagni energetici interni, mese gennaio in kWh dopo la smartizzazione

Si può notare come la quota calore sensibile sia molto simile al consumo energetico per il riscaldamento. Ciò è dovuto al buon isolamento delle strutture disperdenti.

E inoltre, l’apporto dovuto alla radiazione solare esterna attraverso le strutture trasparenti si è ridotto grazie all’utilizzo delle schermature.

Osservando l'intera stagione di riscaldamento (dal 15 ottobre al 15 aprile), nella figura sottostante, è possibile analizzare come adesso la quota per la produzione d'acqua calda sia la quota parte maggiore. Ciò è dovuto al fatto che tale valore dipende dal consumo in m3/persona di acqua, e tale valore non è stato mai modificato. Per ottenere una diminuzione del sopracitato consumo, si potrebbe optare per la sostituzione della caldaia a condensazione con un altro tipo di impianto.

Si riporta di seguito l'andamento dei consumi durante tutta la stagione di riscaldamento.

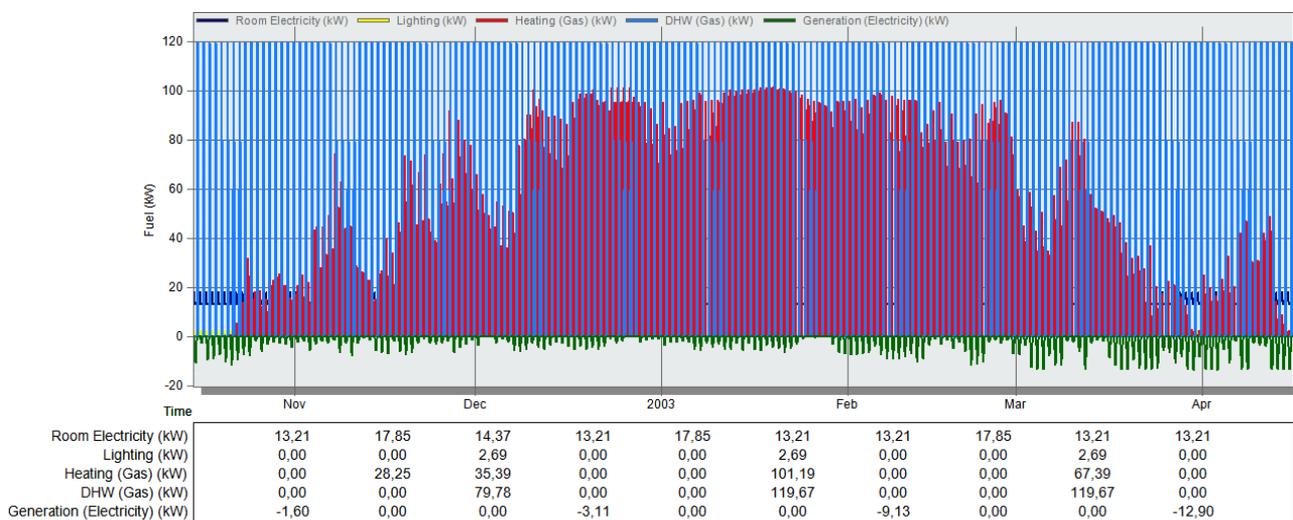


Figura 68: andamento consumi energetici per l'intera stagione di riscaldamento [kW] dopo la smartizzazione

Infine, si riporta l'andamento delle dispersioni termiche attraverso l'involucro e la temperatura di comfort.

Smartizzazione, Risultati ottenuti e Analisi Economica

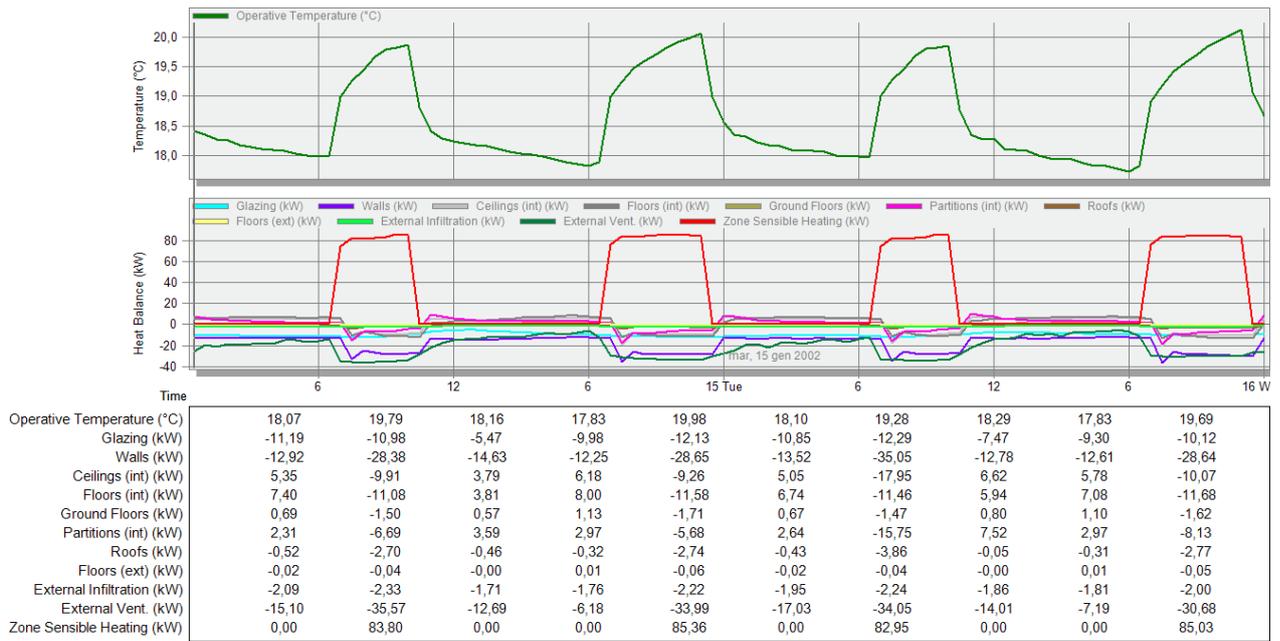


Figura 69: andamento temperatura [°C] e dispersione attraverso l’involucro [kW] per 13, 14 e 15 gennaio dopo la smartizzazione

Come si può osservare dal grafico soprastante, l’andamento della dispersione e della temperatura di comfort presentano meno oscillazioni rispetto ai casi precedenti.

Allo stesso modo, si riportano tutti gli andamenti per 13, 14 e 15 luglio dopo la smartizzazione.

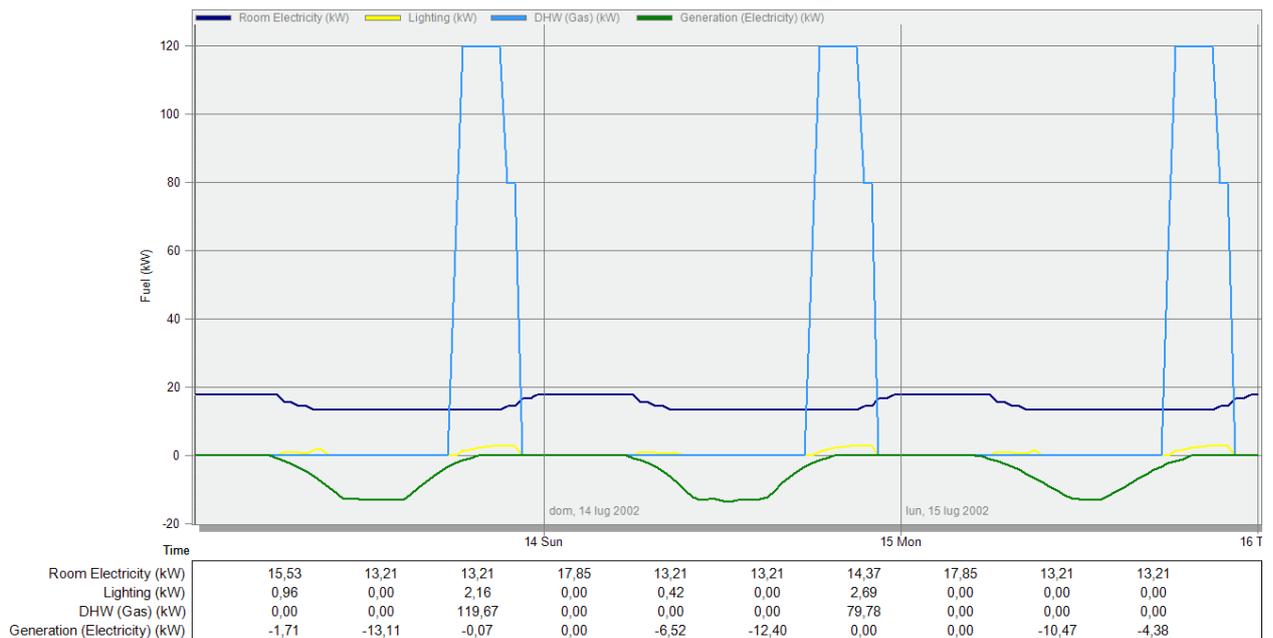


Figura 70: apporti energetici divisi per tipologia di “combustibile” per 13, 14, 15 luglio [kW] dopo la smartizzazione

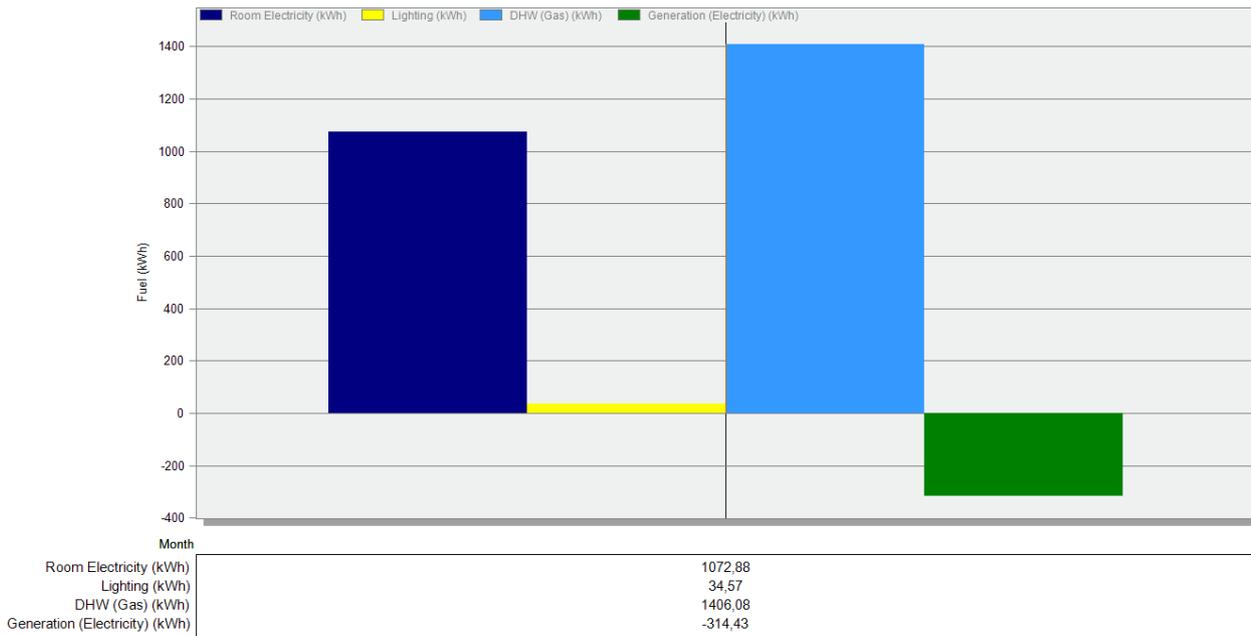


Figura 71: apporti energetici mese di luglio [kWh] dopo la smartizzazione

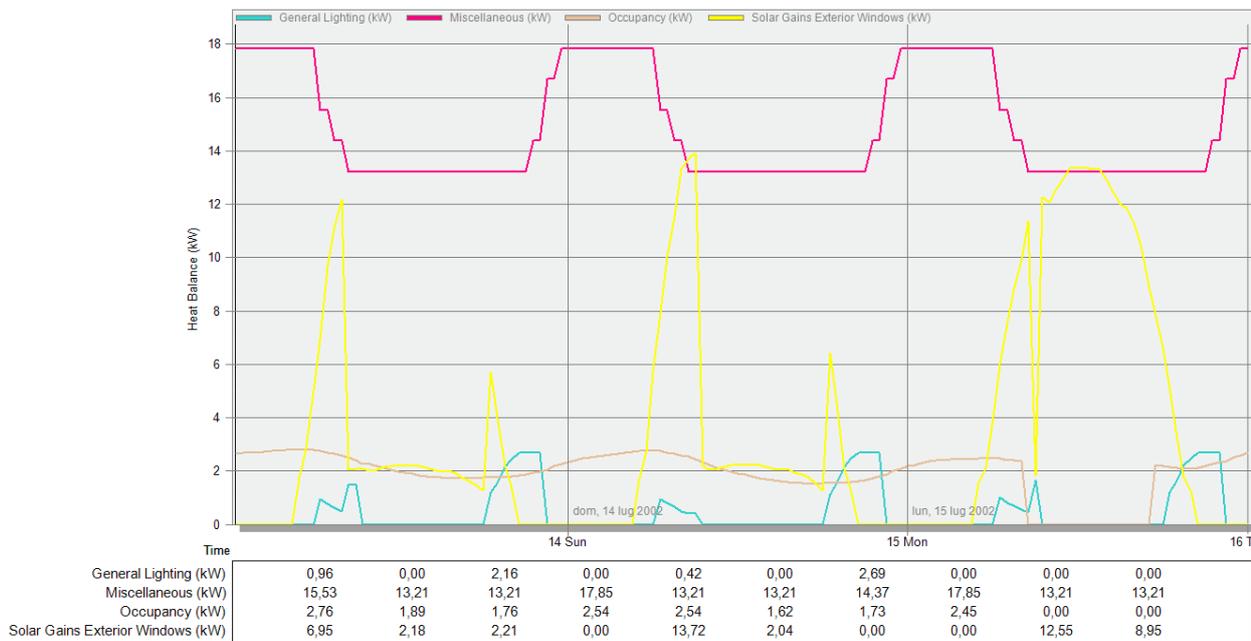


Figura 72: guadagni energetici interni per 13, 14 e 15 luglio [kW] dopo la smartizzazione

Smartizzazione, Risultati ottenuti e Analisi Economica

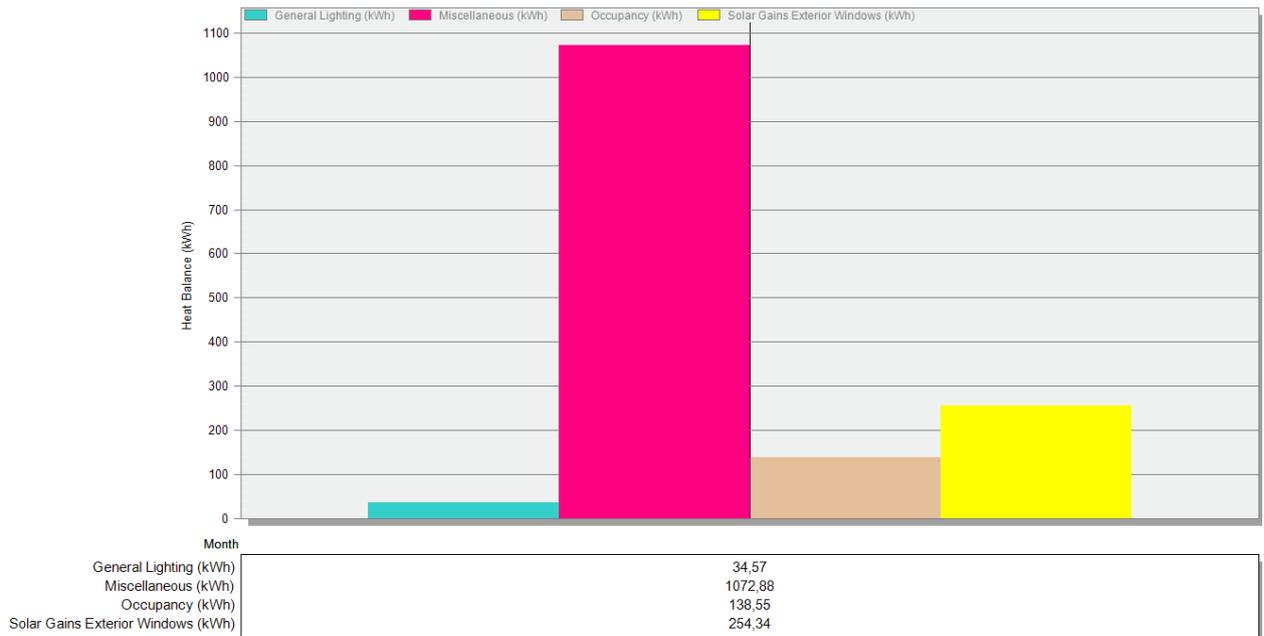


Figura 73: guadagni energetici interni mese di luglio [kWh] dopo la smartizzazione

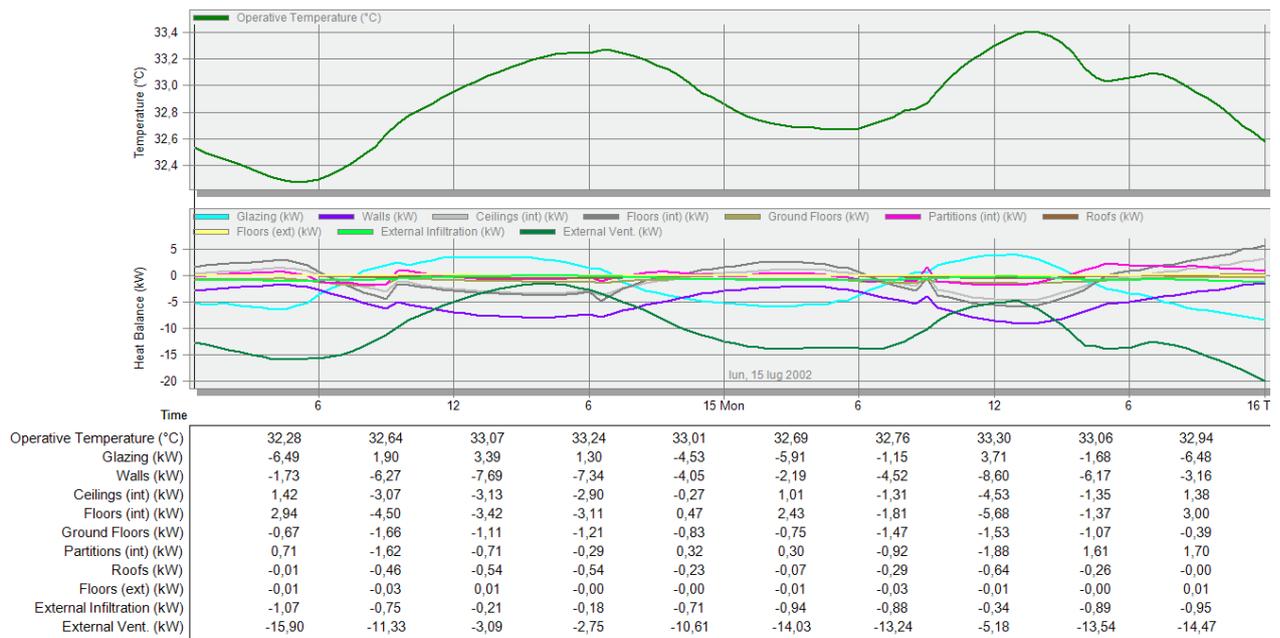


Figura 74: andamento temperatura interna [°C] e dispersione attraverso l'involucro [kW] per 13, 14 e 15 luglio dopo la smartizzazione

9.2 Analisi Economica

Si riporta di seguito la tabella riassuntiva delle tecnologie scelte, la quantità utilizzata e i relativi costi.

Tabella 31: tabella riassuntiva delle tecnologie scelte e loro costi

| Tipologia applicazione smart | unità di misura | Valuta | Quantità | Costo totale |
|--|-----------------|------------|----------|---------------------|
| Veneziane automatizzate (45) | Cad. | € 284,75 | 280 | € 79.729,66 |
| Inverter da max 15 kWp | Cad. | € 1.577,38 | 1 | € 1.577,38 |
| Impianto Fotovoltaico Moduli da 360 Wp | Cad. | € 4.169,00 | 40 | €15.998,40 |
| Bauder Pacchetto per tetto verde light (70kg), buono per piantine e concime di partenza per 18 m ² di tetto verde. (46) | euro/pezzo | € 990,00 | 26 | € 25.740,00 |
| Asciugatrice Candy Libera Installazione CSH7A2DE- S 7 Kg Classe A++ (47) | euro/pezzo | € 328,00 | 52 | € 17.056,00 |
| Lavatrice CANDY Libera Installazione CS1292 9 Kg Classe A+++ Smart (48) | euro/pezzo | € 269,00 | 52 | € 13.988,00 |
| Lavastoviglie da incasso Candy Cdi 6015wifi (49) | euro/pezzo | € 443,15 | 52 | € 23.043,80 |
| Interruttore smart (Wemo) (50) | euro/pezzo | € 49,99 | 52 | € 2.599,48 |
| BELKIN Starter Kit Illuminazione Led Wi-Fi - Linea WeMo (51) | euro/pezzo | € 121,49 | 52 | € 6.317,48 |
| termovalvole smart (Netatmo)- kit con due valvole (52) | euro/pezzo | € 199,99 | 52 | € 10.399,48 |
| Investimento Totale Smartizzazione | | | | € 196.449,68 |

Anche per le applicazioni smart installate è possibile usufruire delle detrazioni fiscali, come ad esempio per le veneziane smart, per le termovalvole smart, per il tetto verde, e per gli elettrodomestici di classe superiore o uguale ad A+.

Le detrazioni sono ripartite in modo diverso in funzione della tecnologia.

Per gli elettrodomestici si potrà usufruire di una detrazione IRPEF del 50% con una spesa massima detraibile pari a 10.000 euro, per le schermature solari si potrà usufruire del 65% con una soglia massima di 60.000 euro, inoltre, da quest'anno con il nuovo *ecobonus* 2018, si potrà usufruire anche delle detrazioni per il tetto verde e per la domotica, interventi cioè, atti al risparmio energetico.

Per il tetto verde, la detrazione è pari al 36% con un tetto massimo di 5.000 euro per unità immobiliare interessata, oppure pari al 65% se l'installazione del tetto verde viene valutata come riqualificazione globale dell'edificio, per la domotica invece, una detrazione del 65% e non è specificato il tetto massimo. Si ipotizza che il tetto verde rientri nella detrazione del 65%.

Infine, anche per il fotovoltaico con scambio sul posto, è possibile usufruire delle detrazioni del 50% per una spesa massima di 96.000 euro.

Si riporta dunque, una tabella riassuntiva con le spese relative alle diverse tecnologie prima e dopo aver considerato le detrazioni fiscali.

Tabella 32:tabella riassuntiva prima e dopo le detrazioni fiscali

| Spesa Termovalvole senza detrazioni | Spesa Termovalvole con detrazioni del 65% | Spesa elettrodomestici senza detrazioni | Spesa elettrodomestici con detrazioni del 50% | Spesa Tetto Verde senza detrazioni | Spesa Tetto Verde con detrazioni del 65% | Spesa Veneziane Smart senza detrazioni | Spesa Veneziane Smart con detrazioni | Spesa PV + Inverter senza detrazioni | Spesa PV + Inverter con detrazioni | Investimento TOT. Con detrazioni fiscali |
|-------------------------------------|---|---|---|------------------------------------|--|--|--------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|--|
| € 10.399,48 | € 6.759,66 | € 63.004,76 | € 31.502,38 | € 25.740,00 | € 9.009,00 | € 79.729,66 | € 40.729,66 | € 17.575,78 | € 8.787,89 | € 93.668,75 |

Dunque, per la smartizzazione, considerando le detrazioni fiscali, si avrà un investimento totale pari a 93.668,75 euro, anziché 196.449,68 euro.

10. CONCLUSIONI

Il presente lavoro di tesi, ha avuto lo scopo di indagare l'importanza che ricopre un'opera di efficientamento e di smartizzazione su un palazzo esistente costruito negli anni '60.

Oggi, a causa dell'aumento della temperatura climatica mondiale, a causa dell'aumento dell'inquinamento, dei gas serra e delle polveri sottili, vi è l'assoluta necessità di adottare politiche diverse, atte soprattutto al risparmio energetico, alla diminuzione dei consumi energetici, che producono CO₂, e ad un'economia e ad una vita più ecosostenibili.

Un edificio smart dunque, così come una città smart, prediligono l'utilizzo di fonti rinnovabili, di energia a basso impatto ambientale, prediligono il recupero termico e il risparmio energetico, l'elevata efficienza, una gestione ecosostenibile e con strumenti *user-friendly* che possano aumentare la qualità della vita.

Ma una città smart, non è soltanto questo. Una città smart è una città efficiente da ogni punto di vista, una città dove servizi e infrastrutture comunicano e interagiscono tra loro, garantendo sicurezza ed efficienza, è una città dove la popolazione è integrata e partecipa attivamente alla vita quotidiana, una città smart è una città sicura, efficiente, ed ecosostenibile.

Pertanto, partendo da un edificio, sito in un quartiere di Milano, Cesano Boscone, lo studio si è rivolto all'analisi preliminare dell'involucro, degli impianti, delle strutture trasparenti e del fabbisogno energetico per mantenere gli ambienti riscaldati durante la stagione invernale.

Passo dopo passo, sono stati effettuati prima vari interventi di efficientamento, caratteristiche imprescindibili per realizzare un edificio intelligente, e necessari a rendere l'edificio conforme ai decreti degli ultimi anni sull'efficienza energetica, e di smartizzazione poi.

Grazie all'utilizzo del software Design Builder, sono state implementate alcune delle tecnologie smart, ed effettuate le simulazioni in regime dinamico ed è stato valutato il comportamento reale dell'edificio in termini energetici.

È stato così possibile valutare i diversi interventi applicati e i risultati ottenuti da questi.

Si riporta di seguito, dunque, un grafico di confronto tra i consumi nella prima fase dello studio dell'edificio, nella seconda fase di efficientamento e nella terza fase di smartizzazione.

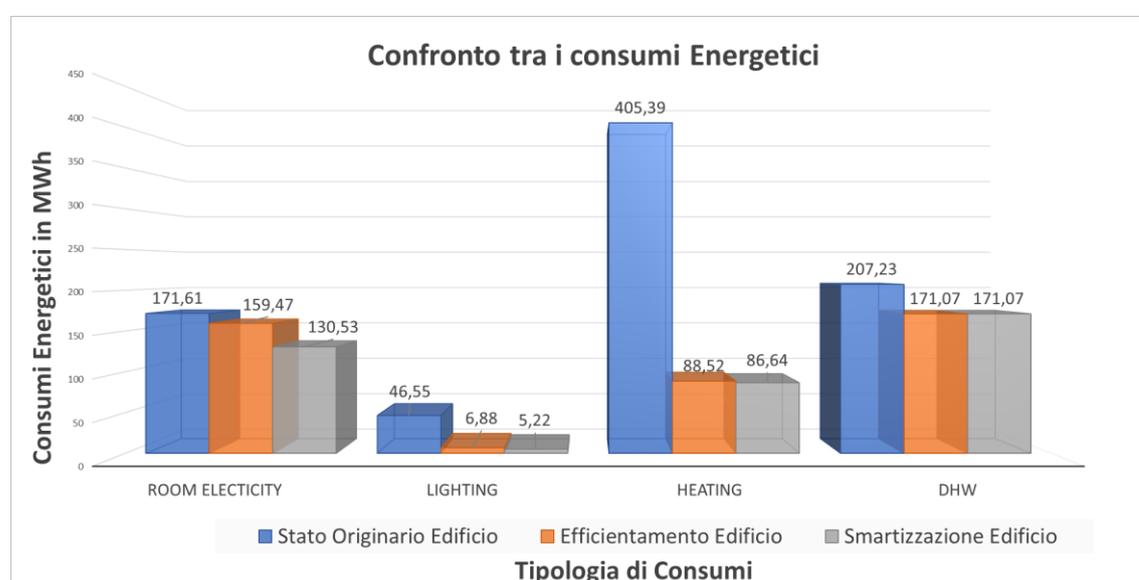


Figura 75: grafico di confronto tra i consumi energetici per tutte le tre fasi e in base alla tipologia di vettore energetico [MWh]

Il fabbisogno energetico per riscaldamento è quello che subisce la diminuzione maggiore, questo è stato possibile grazie all'utilizzo dell'isolamento a cappotto prima, e al tetto verde successivamente.

Anche l'apporto riguardante l'illuminazione subisce una consistente diminuzione, soprattutto tra "stato originale" ed efficientamento dell'edificio, grazie alla scelta delle lampade a led.

Compiuta l'analisi energetica e verificati i benefici ottenuti, è importante anche tranne delle conclusioni di carattere economico.

Supponendo che gli interventi per l'opera di efficientamento durino per almeno 5 anni, e avendo prodotto un risparmio annuale in termini economici di 51.721,2 euro, è possibile calcolare il risparmio totale ottenuto dall'efficientamento durante tutto il periodo dei cinque anni. Si è scelto di ipotizzare 5 anni in quanto le tecnologie smart posseggono un ciclo di vita minore rispetto ad altre tecnologie, e inoltre si ipotizza l'avvento di altre più moderne ed efficienti, migliori quindi dal punto di vista smart.

$$\text{Risparmio} = 51.721,2 * 5 = 258.606,2 \text{ €}$$

Tale risparmio, durante i 5 anni, viene sottratto alla spesa iniziale per l'efficientamento, in questo modo si ottiene l'effettiva somma di denaro utilizzata per l'efficientamento:

$$\text{Spesa effettiva} = 258.606,2 - 153.381,45 = 105.224,8 \text{ €}$$

Tale cifra ottenuta, si può pensare di utilizzarla per le opere di smartizzazione.

La spesa totale per la smartizzazione, considerando anche le eventuali detrazioni è pari a 93.668,75 euro. Dunque, si avrà:

$$\text{Spesa effettiva smartizzazione} = 105.224,8 - 93.668,75 = 11.556,05 \text{ €}$$

Dunque, se ipotizziamo di smartizzare l'edificio dopo i cinque anni dall'opera di efficientamento, il risparmio totale ottenuto, copre interamente le spese di smartizzazione, e la quantità di denaro in esubero dall'investimento può essere utilizzato per ulteriori opere di efficientamento/smartizzazione.

Pertanto, partendo da un investimento di circa 153.381,45 euro per l'efficientamento (considerando il contributo delle detrazioni fiscali) si è ottenuto un risparmio tale da poter smartizzare l'edificio senza ulteriori spese.

Un'ulteriore conclusione che si può trarre dall'analisi delle tre fasi studiate riguarda la "qualità" dell'energia. A prima vista infatti, si nota che la diminuzione del consumo di gas per riscaldamento è nettamente maggiore rispetto alla diminuzione

del consumo di energia elettrica utilizzata per le altre tecnologie, ma il costo in €/kWh di quest'ultima è maggiore rispetto a quello del gas. Dunque, il risparmio economico, in euro, che ne consegue sarà maggiore per l'energia elettrica che per il gas.

La tabella sottostante, chiarisce meglio tale concetto.

Tabella 33: consumi prima e dopo efficientamento, e delta risparmio

| | Room Electricity (MWh) | Lighting (MWh) | Heating (MWh) | DHW (MWh) | Elettricità totale (MWh) | Gas totale (MWh) |
|-------------------------------|------------------------|----------------|---------------|----------------------|--------------------------|------------------|
| Consumo prima efficientamento | 171,61 | 46,55 | 405,39 | 207,23 (elettricità) | 425,39 | 405,39 |
| Consumo dopo efficientamento | 159,47 | 6,88 | 88,52 | 171,07 (gas) | 166,35 | 259,59 |
| Delta Risparmio | 12,14 | 39,67 | 316,87 | / | 259,04 | 145,80 |

La suddetta tabella rappresenta i consumi e i delta risparmio prima e dopo l'efficientamento, la tabella sotto invece riporta i risparmi conseguiti in kWh e in euro.

Tabella 34: delta risparmio in kWh e in Euro

| Delta risparmio elettricità in kWh | Delta risparmio gas in kWh | Delta risparmio elettricità in euro | Delta risparmio gas in euro | Risparmio totale in euro |
|------------------------------------|----------------------------|-------------------------------------|-----------------------------|--------------------------|
| 259.040 | 145.800 | € 46.482,40 | € 5.238,85 | € 51.721,25 |

Come si può osservare, nonostante il gas abbia una diminuzione maggiore in termini energetici, è l'elettricità a produrre un risparmio monetario più elevato.

Si riporta il *PayBack Time*, ossia il tempo di ritorno dell'investimento. Questo viene calcolato per semplicità, considerando un tasso di inflazione pari a zero.

$$PayBack\ Time = \frac{153.381,45}{51.721,2} = 3\ anni$$

Ultima considerazione che può essere effettuata per chiarire ulteriormente come il “peso” dell’energia elettrica sia maggiore rispetto a quello dell’energia termica, è l’analisi del payback time per singola tipologia di intervento realizzato: *room electricity, lighting, heating, DHW*.

Questa viene effettuata considerando le spese singole di ogni categoria analizzata, sia per l’efficientamento che per la smartizzazione, e il risparmio energetico finale ottenuto. In questo caso, le detrazioni fiscali vengono considerate solo per l’*heating* che rappresenta la spesa più gravosa, e non vengono considerate per le altre, in quanto non tutte le tecnologie singolarmente, vi rientrano.

Tabella 35: PBT per singoli interventi

| | Room Electricity | Lighting | Heating | DHW |
|--|-----------------------------|-----------------|----------------|-------------|
| Spesa in euro per singola implementazione | € 54.087,80 | € 9.897,42 | € 217.710,06 | € 13.763,04 |
| Delta risparmio in kWh | 41.080 | 41.330 | 318.750 | 207.230 |
| Delta risparmio in euro | € 7.371,44 | € 7.416,30 | € 12.044,88 | € 37.185,56 |
| PBT [anni] | 7,3 | 1,3 | 18 | 0,4 |

Come si può notare, dalla tabella soprastante, il contributo maggiore è quello fornito dalla sostituzione dei boiler elettrici. Questa infatti, contribuisce non soltanto ad un notevole risparmio in termini energetici, ma anche ad uno economico abbastanza elevato.

È chiaro che, la strada da percorrere per raggiungere il vero “status” di edificio smart è ancora molto lunga, soprattutto quando i lavori vengono effettuati su un intero condominio, dove non è semplice riuscire ad avere collaborazione da parte di tutti i condomini. Inoltre, è fondamentale considerare che l’investimento iniziale,

senza detrazioni, è a carico degli affittuari, e che solo successivamente avverranno i rimborsi IRPEF. Dunque, non tutte le famiglie hanno la possibilità di affrontare tali spese iniziali e non è sicuramente scontato avere l'approvazione per eseguire tali implementazioni.

Ma il presente lavoro ha avuto lo scopo di dimostrare che con piccoli interventi è possibile raggiungere ottimi risultati. Inoltre, per tutto il 2018, sarà possibile usufruire delle detrazioni per "la casa domotica". Ciò è un evidente segnale che anche le istituzioni ritengono fondamentali gli interventi per rendere la propria casa intelligente.

Con l'incentivazione da parte dei governi, con la correzione delle abitudini quotidiane, con l'uso più razionale e consapevole delle fonti energetiche, sarà possibile realizzare edifici e città smart, ma soprattutto sarà possibile giungere ad una nuova mentalità: una mentalità smart.

Bibliografia e Sitografia

- [1] Fabbisogni energetici: case e uffici sotto la lente. *EURAC.edu*.
http://www.eurac.edu/en/research/technologies/renewableenergy/publications/Documents/EURAC_Re nEne_RFedrizzi-CDipasqualeetici_CasaAndClima54_042015.pdf.
- [2] <https://www.futura.news/2017/12/11/protocollo-kyoto/>.
- [3] <https://www.internazionale.it/notizie/2015/12/13/cosa-prevede-l-accordo-sul-clima-approvato-dalla-conferenza-dell-onu-a-parigi>.
- [4] *Smart cities Ranking of European medium-sized cities*. Science, Centre of Regional. Vienna : s.n., October,2007.
- [5] <http://www.marcodemetri.it/smart-city-citta-intelligenti/>;
- [6] *Smart cities of the future*. Batty, M., K.W., Axhausen e Giannotti, F. s.l. : The European Physical Journal Special Topics, 2012.
- [7] *Renewable Energy in Cities* . (IRENA), International Renewable Energy Agency. Abu Dhabi : s.n., 2016.
- [8] <http://www.rinnovabili.it/greenbuilding/intelligent-building-report-intelligenza-edilizia-876/>;
- [9] <https://www.ideegreen.it/cosa-e-edificio-intelligente-24825.html>;
- [10] Furio, ing. Cascetta. *"Efficienza energetica dell'Edificio: gli Smart Buildings"*. Milano : s.n., 2013.
- [11] *Progettazione e Realizzazione Di Uno Smart Distributed System per il controllo degli accessi in ambito aziendale*. Corzari, Andrea. 2013/2014, Vol. Tesi in Smart City e Tecnologie Mobili.
- [12] *Smart Cities: Nuove opportunità di Business per le imprese*. Esposito, Guenda. 2014/2015, Vol. Tesi in Strategie d'impresa.
- [13] [http://up.sorgenia.it/it/ces-2017-10-innovazioni-chi-sceglie-la-smart-home](http://up.sorgenia.it/it/ces-2017-10-innovazioni-chi-sceglie-la-smart-home;);
- [14] <http://shop.lenovo.com/us/en/smart-home/smart-assistant/>;
- [15] <http://www.belkin.com/it/Products/c/home-automation/>;
- [16] <http://www.tuttogreen.it/con-aqus-si-puo-usare-lacqua-del-lavandino-per-il-wc/>;
- [17] <http://www.beacon.it/>;
- [18] <http://www.autobrennero.it/it/la-rete-autostradale/la-sicurezza/barriere-antirumore/>;
- [19] Pandolfo, Enrico. Calcolo dinamico e valutazione delle prestazioni energetiche secondo il protocollo leed di un Hotel. 2013/2014, Vol. Tesi magistrale in Ingegneria Energetica.
- [20] http://www.uni.com/index.php?option=com_content&view=article&id=1037%3Aprestazione-energetica-nelledilizia-la-nuova-direttiva-201031ue&catid=111%3Agenerale&Itemid=546

-
- [21] <https://www.ediltecnico.it/13102/efficienza-energetica-da-domani-vigore-la-direttiva-201227ue/>;
- [22] <http://www.poloenergia.com/news/news-pte/20-news-efficienza/114-news-decreto-102-2014#.WoM5lq7ibiU>;
- [23] <http://www.sviluppoeconomico.gov.it/index.php/it/normativa/decreti-interministeriali/2032968-decreto-interministeriale-26-giugno-2015-adeguamento-linee-guida-nazionali-per-la-certificazione-energetica-degli-edifici>;
- [24] <https://www.ediltecnico.it/48653/termoregolazione-modifiche-del-dlgs-141-2016/>;
- [25] <http://www.modulagroup.it/it/trasmittanza-termica-nuovi-requisiti-2017/>;
- [26] Corrado, V., Ballarini, I. e Corgnani, S. Building Typology Brochure – Italy, Fascicolo sulla tipologia edilizia Italiana. luglio 2014.
- [27] <https://areeweb.polito.it/ricerca/episcopo/tabula/>;
- [28] <http://webtool.building-typology.eu/#bm>; .
- [29] <http://www.mygreenbuildings.org/2009/12/29/indici-di-comfort-termico-fanger-pmv-modello-adattivo-e-diagramma-bioclimatico-di-givoni.html>.
- [30] <http://www.aresfvg.it/files/l%20NUOVI%20DECRETI%20EFFICIENZA%20ENERGETICA.pdf>.
- [31] <http://www.qualenergia.it/articoli/20170912-infissi-una-guida-scegliere-quelli-giusti-e-accedere-a-ecobonus>.
- [32] <http://www.infissi.com/vetri/singolo-o-vetrocamera.html>.
- [33] <https://www.cavalleroserramenti.it/guida-isolamento-cappotto-esterno-interno/>.
- [34] <https://tirichiamo.it/page/Ristrutturazioni/Isolamento-Termico/Isolamento-Termico-del-Solaio-Prezzi-e-Consigli.aspx>.
- [35] <http://www.venest.it/prodotti/isostif/>.
- [36] *Gazzetta Ufficiale*. <http://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2015/07/15/15A05198/sg>.
- [37] <https://library.e.abb.com/public/a5bc26ccdd713781c1257db00058f331/2CSC004070B0901.pdf>.
- [38] *Prezzario Regionale Piemonte*. <http://www.regione.piemonte.it/oopp/prezzario/index16.htm>.
- [39] *Le Agevolazioni Fiscali Per il Risparmio Energetico*. s.l. : Agenzia Delle Entrate, 2017.
- [40] <http://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2008/03/18/08A01909/sg>.
- [41] <http://www.snam.it/it/stoccaggio-servizi/strumenti/convertitore.html>.
- [42] <http://www.tettosolare.it/index.php?shop=yes&idsub=43&IDITEM=275>.
- [43] <http://www.rinnovabili.it/greenbuilding/tetto-verde-vantaggi-coperture-876/>.
- [44] <http://obsitalia.it/building-automation/>.

-
- [45] <https://www.mysmartblinds.com/products/horizontal-blinds>.
- [46] Bauder. Listino Prezzi 2017. 2017.
- [47] <https://www.mondoelettrodomestici.com/asciugatrice-standard/asciugatrice-libera-installazione-candy-csh7a2de-s-307.html>.
- [48] <https://www.mondoelettrodomestici.com/lavatrici-carica-frontale/lavatrice-libera-installazione-candy-cs1292-9-kgclasse-a-smart-50.html>.
- [49] https://www.monclick.it/prodotti/23/LSI/candy/32900439.htm?utm_source=Trovaprezzi&utm_medium=Comparatori&utm_campaign=Lavastoviglie%20da%20incasso.
- [50] <http://www.belkin.com/it/Products/home-automation/c/wemo-home-automation/>.
- [51] https://www.eprice.it/lampadine-e-tubi-BELKIN/d-5803589?shopid=0&meta=GoogleShopping_09&gclid=Cj0KCQiAzMDTBRDDARIsABX4AWYjA9MkYWwccqBKujea8IBTwfElvjUv1LNdNSLvKGiwT_P1pEyZoBD8aAtqwEALw_wcb&gclsrc=aw.ds.
- [52] https://shop.netatmo.com/eur_it/starter-pack.html.
- [53] <https://www.netatmo.com/product/security/smoke-alarm;>
- [54] [https://madeby.google.com/home/;](https://madeby.google.com/home/)
- [55] [http://www.live-m2m.fr/;](http://www.live-m2m.fr/)
- [56] [http://www.parce.de/en/;](http://www.parce.de/en/)
- [57] <https://www.netatmo.com/product/security/smoke-alarm;>
- [58] [https://homebiogas.com/shop/buy-the-homebiogas-system/;](https://homebiogas.com/shop/buy-the-homebiogas-system/)
- [59] <http://www.bcasa.it/eco-gadget-compostiera-domestica-che-produce-biogas-ed-energia.html;>
- [60] <https://store.kontakt.io/next-generation/32-beacon-pro.html;>
- [61] [http://professionisti.bticino.it/soluzioni/casa-domotica/;](http://professionisti.bticino.it/soluzioni/casa-domotica/)
- [62] [http://www.ecohoe.com/;](http://www.ecohoe.com/)
- [63] <http://www.sitav.com/prodotti-acustica/akusolar-barriera-antirumore-fotovoltaiche.html;>
- [64] <https://www.netatmo.com/product/weather/weatherstation;>
- [65] https://www.tesla.com/it_IT/powerwall#design;
- [66] <https://shop.acotelnet.com/products/smart-mem-1-anno-di-my-energy-meter;>
- [67] <http://www.salesianilombriasco.it/public/20150206714164164146331003588441881539407353264463234553.pdf;>
- [68] <http://www.taed.unifi.it/cellai/Corso%20Impianti/Corso%20Impianti/carichi%20termici.pdf>.
- [69] <http://www.certificato-energetico.it/news/nuovo-ape-2015.html>.



Moduli Fotovoltaici SunPower® Serie X | X22-360

Efficienza superiore al 22%

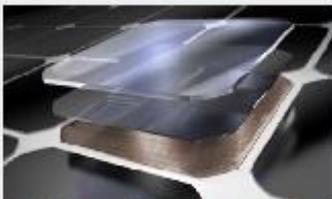
Ideali per ottimizzare la superficie disponibile sul vostro tetto o aumentare la dimensione del vostro impianto.

Massime prestazioni

Progettati per produrre la massima quantità di energia anche in condizioni difficili, come in presenza di ombreggiamento parziale ed elevate temperature sul tetto.^{1,2,4}

Tecnologia all'avanguardia

Progettati con la nuova e potente tecnologia Maxison, i moduli serie X offrono potenza e prestazioni senza rivali per la vostra casa.



Cellule solari Maxison®: radicalmente migliori. Progettate per elevati rendimenti, costruite per durare.

Progettati per la tranquillità dei clienti

Sono progettati per fornire energia in modo affidabile e sicuro per tutta la durata di vita dell'impianto.^{3,4}

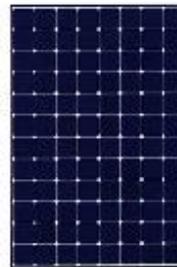
Costruiti per durare

La cella solare SunPower® Maxison è l'unica cella costruita su una solida base in rame. È resistente alla corrosione e alle possibili rotture che degradano le celle dei moduli convenzionali.⁹

Stessa durata eccellente dei moduli SunPower serie E.

1° classificata nel test di durata di Fraunhofer.⁹ 100% di potenza mantenuta nel test di durata completo Atlas 25+.¹⁰

Alte Prestazioni & Eccellente Durabilità



SPR-X22-360



MASSIMA EFFICIENZA⁵

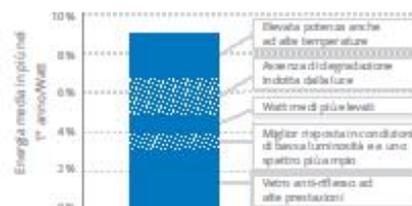
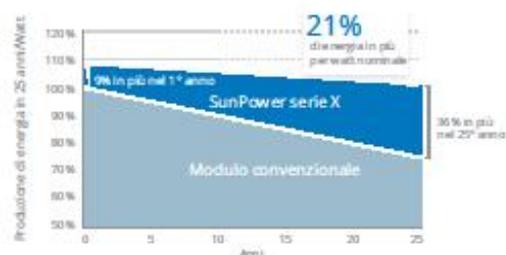
Più energia per metro quadrato

I moduli residenziali serie X convertono una maggiore quantità di luce solare in elettricità, producendo il 38% di energia in più per modulo¹ e il 70% di energia in più per metro quadrato in 25 anni.^{1,2,3}

MASSIMA PRODUZIONE ENERGETICA⁶

Più energia per watt nominale

Nel primo anno il loro elevato rendimento produce l'8-10% di energia in più per watt nominale.⁷ Tale vantaggio aumenta con il tempo, arrivando a produrre il 21% di energia in più nei primi 25 anni.⁸





Moduli Fotovoltaici SunPower® Serie X | X22-360

SUNPOWER OFFRE LA MIGLIORE GARANZIA COMBINATA SU POTENZA E PRODOTTO



Maggiore potenza garantita: 95% per i primi 5 anni, -0,4%/anno (fino al 25° anno)*



Garanzia di 25 anni combinata su potenza e difetti di prodotto che*

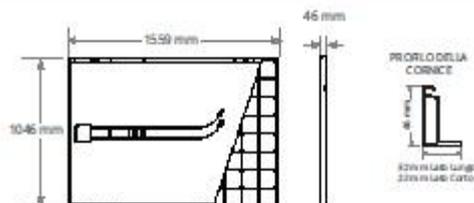
| DATI ELETTRICI | |
|---|-----------------------|
| | SPR-X22-360 |
| Potenza nominale (P _{nom}) ¹⁾ | 360 W |
| Tolleranza di potenza | -5/-0% |
| Efficienza media del modulo ¹²⁾ | 22,2% |
| Tensione al punto di massima potenza (V _{mp}) | 59,1 V |
| Corrente al punto di massima potenza (I _{mp}) | 6,09 A |
| Tensione a circuito aperto (V _{oc}) | 69,5 V |
| Corrente di cortocircuito (I _{sc}) | 6,49 A |
| Tensione massima del sistema | 1000 V IEC & 600 V UL |
| Corrente massima del fusibile | 15 A |
| Coeff. temp. potenza | -0,29% / °C |
| Coeff. temp. tensione | -167,4 mV / °C |
| Coeff. temp. corrente | 2,9 mA / °C |

RIFERIMENTI:

- Tutti i confronti sono effettuati su SPRX22-360 e un modulo convenzionale tipico: 250 W, circa 1,6 m², 15,3% di efficienza.
- Solamente il 3-10% di energia in più per watt, BCDWV Engineering, "SunPower Yield Report", gen 2013.
- 0,22%/anno di degradazione per SunPower rispetto a 1,0%/anno per i moduli convenzionali. Campese, E et al, "SunPower+ Module Degradation Rate", SunPower white paper, 01-2013 Jordan, Dirk "SunPower Test Report", NREL, 01-2015
- "SunPower Module: 40-Year (Serial Life)", SunPower white paper, Maggio 2015. La durata è di 99 moduli su 100 in funzione e più del 79% della potenza nominale.
- Valore più alto di 3.200 moduli in silicio elencati nella rivista Photon Int (convegno moduli Photon Int, Feb 2014)
- L'8% di energia in più rispetto alla media delle prime 10 aziende produttrici di moduli testate nel 2012 (151 moduli, 102 aziende), Photon International, feb 2013.
- In confronto ai primi 15 produttori, SunPower Warranty Review, Maggio 2015.
- Potrebbero essere applicate le esclusioni. Consultare la garanzia per ulteriori informazioni.
- La serie X come la serie C. 5 degli 8 principali produttori di moduli sono stati testati di Fourifer ISE, "PV Module Durability Initiative Public Report", feb 2013. Ulteriori 3 moduli fotovoltaici sono stati testati nel 2014.
- Rispetto al modulo di controllo non sottoposto a stress. Sono state testate sia la serie X sia la serie C, Atlas 2.5- Durability test report, feb 2013.
- Condizioni di prova standard (irradianza: 1000 W/m², AM 1.5, 25 °C) Modulo di riferimento validato da NREL. Metodi utilizzati: SOMS per la misura della corrente LACS per la misura del Fill Factor e tensione.
- In base alle medie dei valori di potenza misurati durante la produzione.
- Tip2 classe di resistenza al fuoco secondo UL 1703-2013 equivalente alla classe C di resistenza al fuoco secondo UL 1703-2002.

| TEST E CERTIFICAZIONI | |
|--|--|
| Test standard ¹³⁾ | IEC 61215, IEC 61730, UL 1703 (Tipo2 classe di resistenza al fuoco) |
| Test di qualità | ISO 9001:2008, ISO 14001:2004 |
| Conformità EHS | RoHS, OHSAS 18001:2007, senza piombo, PV Cycle, REACH SVHC-163 |
| Compatibilità Ambientale | Cradle to Cradle™ Silver |
| Test di armonica | IEC 62716 |
| Test di resistenza alle tempeste di sabbia | TQ.1109/PVSC.201.3.6744437 |
| Test di resistenza all'acqua sabbia | IEC 61701 (livello massimo superato) |
| Test PID | Assenza di degradazione indotta dalla tensione: 1000 V ⁹⁾ |
| Catalogazioni Disponibili | TUV, UL, MCS, CEC |

| CONDIZIONI OPERATIVE E DATI MECCANICI | |
|---------------------------------------|---|
| Temperatura | -40° C to +85° C |
| Resistenza all'impatto | Grandine del diametro di 25 mm a una velocità di 23 m/s |
| Aspetto | Classe A+ |
| Celle solari | 96 celle monocristalline Maxeon di III generazione |
| Vetro | Vetro temperato ad alta trasmissione |
| Scatola di giunzione | IP-65, MC4 |
| Peso | 18,6 kg |
| Carico massimo | Vento: 2400 Pa, 244 kg/m ² fronte e retro Neve: 5400 Pa, 550 kg/m ² fronte |
| Cornice | Alluminio anodizzato nero classe 1, massima classificazione AAMA. |



Consultare il sito <http://www.sunpower.com/contacts> per ulteriori informazioni.
Per ulteriori informazioni consultare le schede tecniche dettagliate www.sunpower.com/pdfs/downloads/

Leggere attentamente le istruzioni relative all'installazione e alla sicurezza.
Documento 51-8557 Rev.C (P4, F)

© Marzo 2017 SunPower Corporation. Tutti i diritti riservati. SUNPOWER, il logo SUNPOWER e MAXEON sono marchi o marchi registrati di SunPower Corporation. I dati contenuti nella presente scheda tecnica possono essere soggetti a modifiche senza preavviso.

SUNPOWER