POLITECNICO DI TORINO

FACOLTÀ DI ARCHITETTURA

CORSO DI LAUREA IN ARCHITETTURA
PER IL PROGETTO SOSTENIBILE

TESI DI LAUREA MAGISTRALE

Metodologie innovative nell'era digitale: il BIM per la "cost optimal analysis".

Marco Farina

Relatore
Prof.ssa Anna Osello

Correlatori
Matteo Del Giudice
Prof.ssa Manuela Rebaudengo

Febbraio 2018

Quand'anche camminassi nella valle dell'ombra della morte (o semplicemente decidessi di diventare architetto), non temerei alcun male, perché Tu sei con me.

Salmo 23:4

_ABSTRACT

L'oggetto di studio della tesi riguarda il progetto di un centro diurno per malati di Alzheimer presso il Santuario del Trompone di Moncrivello, comune sito nella provincia di Vercelli. Pur essendo inserito in una manica di nuova costruzione, il progetto è in realtà parte integrante di un intervento che ha coinvolto tutto il complesso del Trompone, mediante il contributo di un gruppo di studenti in ambiti diversi. Il filo conduttore è rappresentato dall'utilizzo della tecnologia BIM per la realizzazione e la gestione di strutture sanitarie.

Il tema centrale della tesi riguarda la valutazione della sostenibilità di scelte progettuali volte al risparmio energetico. Sono diversi gli strumenti utili ad affrontare questa tematica e una di queste è rappresentato dalla *Cost Optimal Analysis*, definita come una metodologia attraverso la quale è possibile individuare il miglior livello di prestazione energetica in funzione dei costi. Si tratta quindi di fondere la sfera economica con quelle energetica ed ambientale. L'obiettivo è quello di effettuare scelte di risparmio energetico ottimizzando i costi.

Da un punto di vista pratico, la *cost optimal* consiste nel creare una serie di alternative progettuali concepite come combinazioni di diverse soluzioni tecnologiche ed impiantistiche. Queste andranno poi sottoposte ad analisi energetiche ed economiche valutandone la prestazione lungo il loro ciclo di vita. In questa maniera è possibile valutare gli effetti che la singola soluzione progettuale provoca sulla performance energetica ed economica dell'intero edificio. Questa procedura, se utilizzata sin dalle fasi preliminari della progettazione, richiede tempo e coinvolge molteplici ambiti progettuali. Una risposta a questo presupposto può essere data dall'adozione di nuovi strumenti di progettazione digitale come il *Building Information Modeling* (BIM).

Lo scopo della tesi è stato quindi quello di proporre un'applicazione metodologica di integrazione tra BIM e *Cost Optimality,* al fine di creare uno strumento di *decision making* utilizzabile sin dalle fasi preliminari della progettazione e che, successivamente, permetta di eseguire un controllo continuo delle prestazioni energetiche ed economiche ad ogni sviluppo progettuale. Questa premessa è stata realizzata grazie all'ideazione di un *workflow* che sfruttasse l'interoperabilità per la condivisione di informazioni eterogenee contenute nel modello 3D parametrico per eseguire analisi di tipo energetico ed economico.

I risultati più significativi riguardano l'analisi dell'interoperabilità tra i diversi software. Nel complesso, non si sono verificate criticità in grado di compromettere il processo ma vi sono alcuni aspetti in contrasto con la metodologia BIM. Queste criticità riguardano soprattutto l'analisi energetica. Ad oggi, infatti, manca la possibilità di condividere informazioni con software di simulazione energetica in modo bidirezionale. Inoltre, la precisione del modello analitico richiede che vengano eseguiti una serie di accorgimenti che spesso riguardano la semplificazione del modello architettonico. A livelli di progetto avanzato, questo aspetto ostacola il grande vantaggio di avere un unico modello condiviso tra tutte le figure coinvolte nella progettazione.

Seppur il risultato possa essere considerato soddisfacente, occorre maggiore studio e ricerca sull'implementazione dell'interoperabilità BIM in maniera tale da sfruttare appieno il suo potenziale velocizzando e migliorando sempre più la progettazione integrata.

_INDICE

Introduzione

1_BIM: la seconda rivoluzione informatica della progettazione digitale 11

Progettare oggi 12
BIM: Building Information Model(ing) 13
I vantaggi del BIM 16
Interoperabilità 19
Sviluppo del BIM 22

2_Introduzione alla metodologia cost optimal 25

Architettura: tra responsabilità sociale e sviluppo sostenibile 26
Dalla sostenibilità economica al cost optimal 28
Metodologia BIM al supporto della cost optimal analysis 32

3_Il caso studio 35

Il Santuario del Trompone 36
BIM for health 37
Il centro diurno per malati di Alzheimer 37

4_Ipotesi progettuali 41

Involucro 42
Preparazione del modello BIM per l'esportazione del modello energetico 47
Confronto superfici BIM/EAM 51
Importazione del modello energetico in DesignBuilder 53
Impostazioni del modello energetico 57
Impianti 60
Definizione dei pacchetti progettuali 64

5_Calcolo del global cost 71
Interoperabilità BIM per il computo degli elementi 72
Costi di investimento iniziali 77
Costi di esercizio 81
Costi di manutenzione e sostituzione 85
Valore residuo 87

6_Cost optimal analysis 89
Il grafico del cost optimal 90
Analisi di sensibilità 95
Osservazioni sui risultati 98

Conclusioni 100

Bibliografia 104

Allegati 108

Progettare oggi significa realizzare oggetti talmente complessi da richiedere il coinvolgimento di diverse figure professionalizzate in settori talvolta anche molto differenti tra loro. In ambito architettonico si fa quindi sempre più ricorrente il tema della "progettazione integrata", ovvero una progettazione nella quale diversi attori interagiscono continuamente tra loro durante tutte le fasi realizzative e gestionali che intercorrono durante il ciclo di vita dell'edificio.

Questo concetto è stato maggiormente rafforzato dalla cosiddetta "progettazione sostenibile", da molti ritenuta ancora una novità ma che oramai rappresenta una prerogativa imprescindibile della progettazione architettonica. Nuovi livelli qualitativi devono essere raggiunti al fine di poter combattere la crisi attuale sotto il profilo ambientale, economico e sociale.

Sono diversi gli strumenti utili per affrontare queste tematiche e una di queste è rappresentato dalla *Cost Optimal Analysis*. Nata dalla necessità di creare uno strumento in grado di valutare la fattibilità di un progetto in relazione alle sue conseguenze ambientali, ha come risultato finale l'individuazione del miglior livello di prestazione energetica in funzione dei costi. Si tratta quindi di fondere la sfera economica con quelle energetica ed ambientale al fine di valutare le ricadute dell'efficientamento energetico sul costo dell'opera. Questo tipo di analisi parte dal presupposto che si assuma come concetto di costo non solo la sommatoria di tutti i costi relativi alla realizzazione dell'opera ma anche quelli relativi alla gestione dello stesso lungo il periodo assunto per l'analisi.

Da un punto di vista operativo, questa metodologia consiste in un processo nella quale diverse soluzioni tecnologiche ed impiantistiche vengono combinate tra loro creando una serie di "pacchetti" progettuali. Questi dovranno poi essere sot-

toposti ad analisi energetiche ed economiche valutando la loro prestazione lungo il ciclo di vita.

La criticità maggiore di questa metodologia è rappresentata dalla complessità della valutazione di molteplici soluzioni di efficienza energetica. Questo processo richiede quindi un oneroso dispendio di tempo soprattutto a fronte di continue modifiche ed implementazioni al progetto. Lo scopo di questa tesi è quello di proporre un'applicazione metodologica che possa rendere questo strumento utilizzabile sin dalle fasi preliminari della progettazione e, successivamente, permetta di poter eseguire un controllo continuo delle prestazioni energetiche ed economiche ad ogni successivo approfondimento.

Per raggiungere tale premessa risulta necessario l'impiego di strumenti innovativi in ambito progettuale ed a tal proposito l'uso del BIM si rivelato di fondamentale importanza. Nella concezione comune, il *Building Information Modelling* viene solitamente considerato come un software in grado di generare rappresentazioni tridimensionali e disegni tecnici grazie alla creazione di un modello 3D dettagliato. Questo aspetto consente un controllo continuo e coerente della progettazione, in grado di ridurre i margini di errore nelle rappresentazioni grafiche a fronte di un ricavo significativo in termini di tempi e costi. Questa considerazione rappresenta, però, solo una parte delle possibilità offerte dall'utilizzo del BIM. Il suo vero potenziale risiede nella possibilità di consentire ai diversi attori coinvolti nel processo progettuale di poter partecipare contemporaneamente alla progettazione. In questo modo è possibile creare un oggetto tridimensionale, unico e condiviso in grado di consentire la progettazione e la gestione di un'opera a livello architettonico, strutturale e impiantistico tramite elementi parametrici ricchi di informazioni di vario genere in grado di descriverne il suo comportamento mecca-

nico, termico e funzionale fino ad arrivare a dettagli specifici come il costo, il produttore, la provenienza e lo stato manutentivo dello stesso.

Gli sviluppi futuri del *Building Information Modelling* mirano ad implementare la sua interoperabilità, ovvero la possibilità di poter scambiare dati con strumenti terzi. L'obiettivo di questa tesi è stato quello di analizzare l'interoperabilità tra BIM e altri software al fine di eseguire valutazioni di tipo energetico ed economico del progetto. Il presupposto è quello di verificare quali sono gli aspetti critici nell'utilizzare tali strumenti al fine di individuare la miglior soluzione di efficienza energetica in funzione dei costi.

Tutte queste considerazioni vengono applicate ad un caso studio. Si tratta del progetto di un centro diurno per malati di Alzheimer presso il Santuario del Trompone di Moncrivello, comune sito nella provincia di Vercelli. Il progetto va ad inserirsi in una manica di nuova costruzione ed è parte integrante di un intervento più ampio, che riguarda tutto il complesso del Trompone, sulla quale diversi studenti hanno contribuito in ambiti differenti. Il contributo di questa tesi ha riguardato l'analisi della sostenibilità delle scelte tecnologiche del progetto tramite l'applicazione della *Cost Optimal Analysis*. La peculiarità di questa ricerca riguarda il fatto che si sia utilizzato il BIM e la sua interoperabilità al fine di automatizzare questo processo e renderlo disponibile sin dalle fasi preliminari della progettazione.

1 BIM: la seconda rivoluzione informatica della progettazione digitale

Scopo del capitolo è quello di evidenziare l'importanza del BIM per la progettazione integrata grazie al suo potenziale legato all'interoperabilità. Per comprenderlo appieno, è fondamentale non soffermarsi al solo aspetto tecnico della modellazione BIM ma comprenderne la metodologia, in maniera da impostare una progettazione parametrica in senso orizzontale, integrando i soggetti coinvolti nel processo in ogni fase del ciclo progettuale.

_PROGETTARE OGGI

Nel corso del tempo la progettazione architettonica si è evoluta al punto tale da raggiungere livelli tecnici e operativi elevatissimi, coinvolgendo sempre più diverse figure professionali specializzate in ogni suo aspetto specifico (Osello, 2012). Questo ha originato una complessità procedurale nella quale si possono verificare conflitti tali da poter incidere sulla qualità dell'opera, generando rallentamenti a cui si susseguono dispendi in termini di tempo e risorse economiche. Questi problemi sono evitabili solo attraverso un processo di coordinamento efficiente tra i diversi livelli e i vari soggetti coinvolti nella progettazione (Salzano, 2015). Infatti, oggi più che mai si ricorre alla cosiddetta "progettazione integrata": un sistema di gestione e controllo del processo edilizio lungo tutte le fasi del ciclo di vita del progetto. Questo aspetto rappresenta una caratteristica del mercato odierno che ha come prerogativa quella dell'innovazione (Cumo, Sferra, & Pennacchia, 2015).

Questo processo evolutivo è stato però afflitto in maniera rilevante dalla attuale crisi economica, nella quale il settore edile risulta essere tra le principali vittime. Questo aspetto è stato oggetto di studio dal Cresme[1] il quale, sulla base di report economici e analisi della filiera delle costruzioni, ha individuato i motori più importanti utili ad avviare un processo di cambiamento al fine di risanare la profonda crisi del settore. Su tutti spiccano la sostenibilità ambientale e l'innovazione tecnologica relativa non solo ai prodotti ma anche, e soprattutto, ai processi che l'ITC[2] ha sui processi edilizi (Cumo, Sferra, & Pennacchia, 2015).

La sostenibilità ambientale è diventato un tema inderogabile per ogni progettista. Molto spesso però, questo viene relegato alla fine dell'iter progettuale in quanto considerato inerente alla sola progettazione impiantistica, senza considerare che un'elevata qualità in termini di sostenibilità può essere raggiunta solo nel caso in cui essa venga considerata e applicata sin dalle prime fasi di sviluppo della progettazione (Osello, 2012). Questo, come numerosi altri aspetti legati al processo edile, necessità dell'utilizzo di tecnologie integrate che permettano una sempre maggiore collaborazione interdisciplinare tra gli operatori del settore e la gestione delle molteplici informazioni che vengono continuamente scambiate. Affinché queste informazioni non rischino di perdersi o di entrare in conflitto compromettendo l'affidabilità e la qualità della progettazione, è necessario abbandonare l'approccio

1 Centro ricerche economiche e sociali del mercato dell'edilizia. Il suo obiettivo è quello di fornire al settore privato e alle istituzioni pubbliche informazioni e *know-how* per descrivere e prevedere l'andamento dell'economia e del mercato delle costruzioni al livello territoriale, nazionale e internazionale.

2 *Information Communication Technology*. Indica l'insieme delle tecnologie che consentono il trattamento e lo scambio delle informazioni in formato digitale.

tradizionale basato sul CAD[3] ed adottare una metodologia che permetta la gestione dell'intero processo edilizio ottimizzando le iterazioni tra i progettisti (Salzano, 2015). A tal proposito, il BIM ricopre un ruolo importante perché permette uno scambio continuo ed in tempo reale delle informazioni tra tutti gli attori della filiera soprattutto in funzione alle possibili modifiche in corso d'opera (Cumo, Sferra, & Pennacchia, 2015).

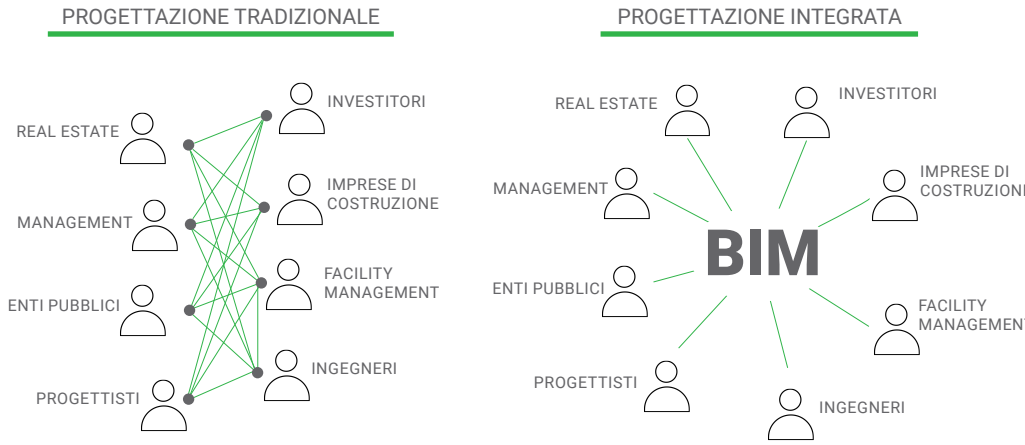


Figura 1: confronto tra progettazione tradizionale e progettazione integrata.

_ BIM: Building Information Model(ing)

L'introduzione dei sistemi CAD rappresentò la prima grande rivoluzione informatica nel mondo della progettazione digitale dopo secoli di progetti rappresentati graficamente su carta. Essi si svilupparono a partire dal 1960 e consentirono di raggiungere un'elevata precisione delle costruzioni geometriche e, allo stesso tempo, un progresso in termini di velocità e modificabilità dei disegni garantendo un risparmio considerevole in tutte le operazioni ripetitive. Via via questi sistemi si arricchirono di molteplici funzioni sino a sostituire i tecnigrafi (Mingucci, Garagnani, & Luciani, 2012). Il CAD rappresentò un enorme cambiamento in termini prettamente operativi ma meno per quanto concerne la metodologia progettuale. Per questo si dovette aspettare il 1986 quando l'azienda Ungherese Graphisoft introdusse Archicad, un software commerciale con l'ambizione di realizzare progetti architettonici completamente in 3D ed aprendo così lo sviluppo del BIM (Osello, 2012).

3 *Computer Aided Design*: è una famiglia di sistemi e programmi software per la progettazione assistita dal calcolatore, utilizzati per il disegno architettonico, il rilievo civile, il disegno meccanico e parametrico, il computo metrico, il disegno di schemi elettrici, ecc...

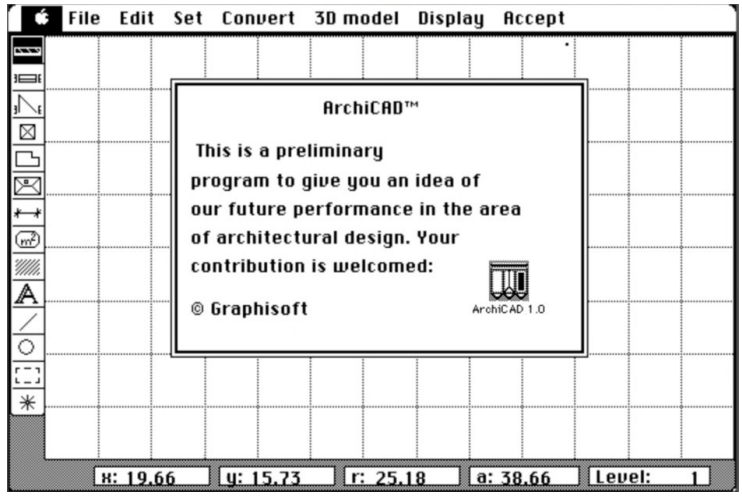


Figura 2: Interfaccia grafica della prima versione del software Archicad.

Dare una definizione di BIM può rivelarsi un compito arduo complice anche il fatto che in letteratura non esiste una definizione univoca ed esaustiva in grado di riassumere le sue potenzialità nei tanti campi nei quali può essere applicato. Nel 1999, C. Eastman[4] definì il BIM come: "Una rappresentazione del processo costruttivo che facilita lo scambio e l'interoperabilità delle informazioni in formato digitale". Sulla stessa linea, l'*American Institute of Architects* (AIA) descrive invece "una tecnologia di modellazione collegata ad un database di informazioni di progetto". Seppur corrette, entrambe però faticano a concretizzare il vero significato della modellazione parametrica (Salzano, 2015).

Per prima cosa, è indispensabile comprendere la metodologia che sta alla base del BIM. Nella concezione comune viene solitamente considerato come un software in grado di generare rappresentazioni tridimensionali e disegni tecnici grazie alla creazione di un modello 3D dettagliato. Questo aspetto consente un controllo continuo e coerente della progettazione, in grado di ridurre i margini di errore nelle rappresentazioni a fronte di un ricavo significativo in termini di tempi e costi. Le risorse risparmiate possono così essere impiegate nello sviluppo di altri aspetti che riguardano la progettazione, qualità architettonica ed ambientale in primis.

In realtà il BIM è molto più di tutto ciò. Non si tratta semplicemente di "*model*", ovvero di un oggetto, ma rappresenta "un'attività costruita da tutto l'insieme dei processi applicati per realizzare, gestire, ricavare e comunicare informazioni tra

4 Charles M. Eastman, professore del C*olleges of Architecture and Computer Science al Georgia Institute of Technology.* Specialista della progettazione parametrica ed interoperabilità e direttore del *Georgia Tech Digital Building Lab.*

soggetti a livelli differenti, utilizzando dei modelli creati da tutti i partecipanti al processo edilizio, in tempi diversi ed anche per scopi non uguali tra loro, per garantire qualità ed efficienza attraverso l'intero ciclo di vita di un manufatto" (Osello, 2012). Questa definizione coincide con l'accezione del termine BIM come *Building Information Modeling*.

Si tratta quindi di un sistema complesso organizzato attorno ad una struttura di dati. Da un lato, questo permette di rappresentare tridimensionalmente l'organismo architettonico, con tutti i dettagli necessari a produrre automaticamente i documenti utili ai fini tecnici e normativi, ma allo stesso tempo conserva un livello di intelligenza intrinseca in modo da garantire la perfetta coerenza dell'insieme delle informazioni. Ciò implica la possibilità di supportare l'attività congiunta di tutti gli operatori coinvolti nel corso della progettazione, soprattutto a fronte di modifiche (Mingucci, Garagnani, & Luciani, 2012).

Il BIM, quindi, fonda le sue potenzialità sull'integrazione tra i diversi attori del processo progettuale. Può essere considerato come un sistema di progettazione "*smart*", dove la tridimensionalità e la flessibilità cooperano nella costruzione dei componenti prima ancora della realizzazione di disegni (Cumo, Sferra, & Pennacchia, 2015). Un oggetto tridimensionale, unico e condiviso in grado di consentire la progettazione e la gestione di un'opera a livello architettonico, strutturale e impiantistico tramite elementi parametrici ricchi di informazioni di vario genere in grado di descriverne il suo comportamento meccanico, termico e funzionale fino ad arrivare a dettagli specifici come il costo, il produttore, la provenienza e lo stato manutentivo dello stesso (Salzano, 2015).

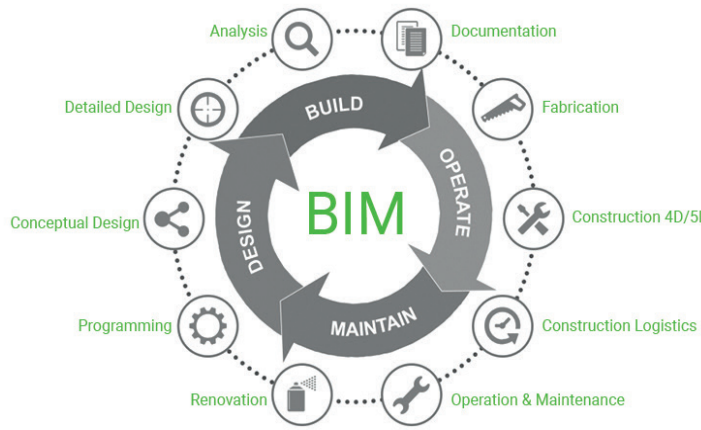


Figura 3: integrazione del BIM tra i diversi ambiti progettuali.

Il *Building Information Modeling* concepisce il progetto architettonico in modo innovativo amplificando le potenzialità dei progettisti grazie alla sua capacità di allargare la visione d'insieme senza smettere di considerare il dettaglio costruttivo. Un'organizzazione del lavoro assistita dalla costruzione virtuale "al vero" ha la potenzialità di imporre una nuova metodologia per le squadre di specialisti che, in tempo reale, potranno operare sul medesimo progetto. Una innovazione globale quindi, che anche sugli aspetti di rappresentazione e documentazione potrà essere frontiera di grandi innovazioni (Mingucci, Garagnani, & Luciani, 2012).

_ I VANTAGGI DEL BIM

La sostanziale differenza tra il disegno "tradizionale" CAD e il BIM consiste nella complessa parametrizzazione quest'ultimo. Un oggetto parametrico consiste in una serie di input geometrici ai quali vengono integrati parametri composti da dati e regole. Questo aspetto rappresenta un enorme potenziale il quale, ancora oggi, si studia per ricavarne tutti i vantaggi (Cumo, Sferra, & Pennacchia, 2015).

La chiave della progettazione parametrica consiste nel mettere a disposizione del progettista strumenti di analisi capaci, sin dalle fasi preliminari, di valutare il giusto rapporto tra forma e funzione a cui si integrano contemporaneamente analisi dettagliate, come ad esempio strutturali o economiche, per trovare possibili errori piuttosto che soluzioni differenti che maggiormente si adattano alle esigenze concrete del progetto (Cappochin, Maistri, & Torre, 2011).

Durante una conferenza dell'*American Institute of Architects* del 2005, l'architetto statunitense Patrick MacLeamy[5] elaborò i vantaggi dell'utilizzo del BIM in termini di efficienza progettuale. Il grafico mostra come l'utilizzo del BIM, a differenza di quella della progettazione tradizionale, richieda un sforzo intensivo durante le fasi preliminari smaltendo poi gli sforzi in maniera significativa nelle fasi di produzione dei documenti e di costruzione. I benefici sono individuabili relazionando le due parabole con le curve rappresentanti i costi dei cambiamenti progettuali e la capacità di influenzare le capacità funzionali e di costo. A fronte di queste considerazione è possibile dedurre un aumento della qualità del progetto e allo stesso tempo riduce tempi e costi. Un risparmio capace di aumentare la produttività e la possibilità di poter dedicare maggiore risorse in attività che implementano la sostenibilità del progetto stesso.

5 Architetto statunitense fondatore e presidente del BuildingSMART International. MacLeamy è stato promotore dello sviluppo a livello internazionale del BIM per il miglioramento della qualità e dell'efficienza del processo progettuale architettonico.

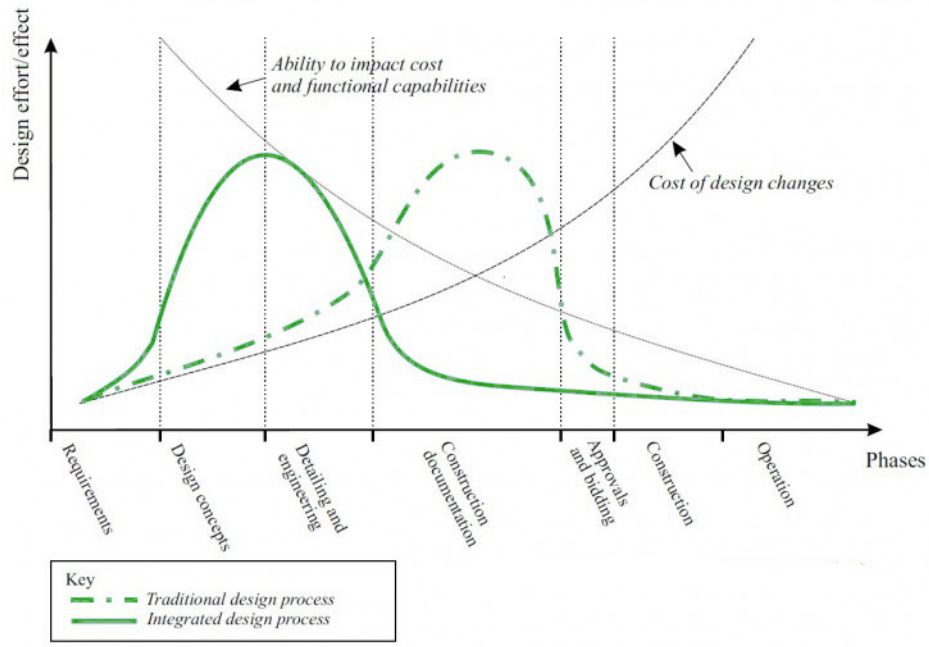


Figura 4: Grafico di MacLeamy.

L'implementazione della qualità progettuale è data anche, e soprattutto, dalla possibilità di poter imputare diverse informazioni ai vari oggetti presenti nel modello digitale. In questa maniera è possibile valutare in tempo reale l'impatto delle scelte progettuali sulla performance globale[6] dell'edificio pesata lungo l'intero ciclo di vita (Cumo, Sferra, & Pennacchia, 2015).

La metodologia BIM può rilevarsi particolarmente utile anche come supporto per le decisioni. Il BIM, infatti, può essere adottato per studiare diverse alternative, confrontando parametri quali funzionalità, ambiti e costi. Ad esempio, può essere utilizzato come supporto per le decisioni degli investimenti.

Altra funzionalità interessante è la possibilità di poterlo utilizzare per una migliore comprensione delle soluzioni progettuali, sia per i progettisti della stessa disciplina, ma anche per le diverse parti interessare che non hanno familiarità con il lavoro di esperti del settore AEC[7]. Ad esempio, può essere utile agli agenti immobiliari nella vendita attraverso una forte visualizzazione e agli acquirenti sono in grado di personalizzare facilmente il design della casa (Mora, Peron, Cappelletti, Romagnoni, & Ruggeri, 2014).

6 Prestazione del progetto rispetto al suo ciclo di vita, sia dal punto di vista economico che energetico ed ambientale.

7 *Architecture, Engineering and Costruction*. Acronimo utilizzato soprattutto in campo informatico per indicare tutto il settore delle costruzioni.

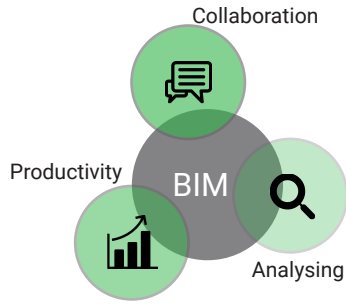


Figura 5: Vantaggi dell'utilizzo del BIM per il flusso di lavoro.

Generalmente, i software BIM sono sviluppati principalmente come strumento di progettazione andando a definire la così detta parametrizzazione *object-base*[8]. La maggior parte dei software includono funzionalità legate alla renderizzazione piuttosto che l'analisi energetica, illuminotecnica, strutturale, impiantistica, economica, ecc… tuttavia le applicazioni si possono suddividere in:

- BIM *tool*: applicazione in grado di produrre uno specifico output. Ad esempio per generare un modello tridimensionale e produrre elaborati grafici, oppure effettuare la stima dei costi, analisi energetiche e programmazione. Tali risultati sono principalmente *standalone* ma, in alcuni casi, possono essere esportati ad altre applicazioni.
- BIM *platform*: applicazione in grado di generare dati per molteplici usi. Fornisce un modello all'interno del quale sono presenti le informazioni principali che caratterizzano la piattaforma. La maggior parte includono al loro interno altre funzionalità come ad esempio la generazione di disegni e la verifica di errori o incongruenze. Solitamente incorporano interfacce di altri BIM *tool* con vari livelli di integrazione.
- BIM *environment*: gestione di dati di uno o più flussi di informazioni i quali integrano le applicazioni *tool* e *platform* al loro interno. Il suo uso ha l'obiettivo della generazione e gestione dei dataset provenienti da BIM *tool* diversi. Il BIM *environment* è rivolto al monitoraggio e al coordinamento del progetto ma, rispetto al BIM platform, offre l'opportunità di elaborare maggiori informazioni eterogenee rispetto al solo modello (Chuck, Paul, Rafael, & Kathleen, 2011).

8 *"object-based language"*: linguaggio di programmazione fondato sulla metodologia di racchiudere condizioni ed informazioni all'interno di oggetti.

_INTEROPERABILITÀ

L'interoperabilità si definisce come la capacità di condividere e scambiare rapidamente ed accuratamente dati e informazioni di prodotti e di processi tra i sistemi utilizzati dal team di progettazione, migliorando l'efficacia e l'efficienza del processo edilizio. In merito a questo è stata pubblicata la norma UNI 11337 relativa alla gestione digitale dei processi informativi delle costruzioni. L'obiettivo è quello di concentrare le attività sul processo facilitando la circolazione delle informazioni digitali tra i diversi soggetti coinvolti nella filiera. Questo approccio porterà verso l'integrazione dei soggetti e delle fasi del processo sfruttando le potenzialità in termini di interoperabilità tra i software esistenti, garantendo anche un aggiornamento continuo delle informazioni inserite (Cumo, Sferra, & Pennacchia, 2015).

L'esigenza di standardizzare e regolamentare le procedure del BIM è dovuta al forte sviluppo della progettazione odierna, la quale ha generato un flusso importante di informazioni difficile da gestire. A tal proposito, nasce *BuildingSMART*[9], un'organizzazione internazionale che sviluppa gli standard "*open* BIM" ed effettua politiche di sviluppo e divulgazione in merito all'uso del BIM. Esso considera il *Building Information Modeling* come una rappresentazione digitale comune basata sull'interoperabilità. Di questa organizzazione fanno parte ventisette Paesi tra cui: USA, Canada, Cina, Giappone, Korea, Singapore, Australia, Francia, Germania, Spagna, Norvegia, Svezia, Inghilterra e Italia. L'obiettivo di *BuildingSMART* è quello di standardizzare i dati fruibili con gli strumenti BIM in un formato unico in modo da garantire l'interoperabilità tra le diverse discipline e tra i diversi dati. Questo si è concretizzato con la creazione dell'IFC (*Industry Foundation Classes*), un formato di file standard basato sulla ISO 16739:2013, il quale racchiude e descrive le informazioni ed i parametri dell'industria delle costruzioni garantendo l'interoperabilità e lo scambio di dati ed informazioni tra ambienti software diversi. Il modello BIM così creato diventa una sorta di "file sorgente" dal quale diversi professionisti coinvolti nella progettazione e, più in generale, per tutti gli operatori del settore EAC e del *Facility Management*[10] possono attingere tutte le informazioni necessarie al loro campo specialistico

9 Nata inizialmente come IAI (*International Alliance for Interoperability*), organizzazione di diverse compagnie private tra cui Autodesk, AT&T e HOK Architects.

10 Processo di progettazione, implementazione e controllo attraverso il quale le *facility* (ovvero gli edifici e i servizi necessari a supportare e facilitare l'attività dell'azienda) sono individuate, specificate, reperite ed erogate allo scopo di fornire e mantenere quei livelli di servizio in grado di soddisfare le esigenze aziendali, creando un ambiente di lavoro di qualità con una spesa il più possibile contenuta. Si tratta quindi di un approccio integrato che, attraverso la progettazione, pianificazione ed erogazione di servizi di supporto all'attività principale dell'azienda, mira ad aumentare l'efficacia dell'organizzazione e a renderla capace di adattarsi con facilità e rapidità ai cambiamenti del mercato.

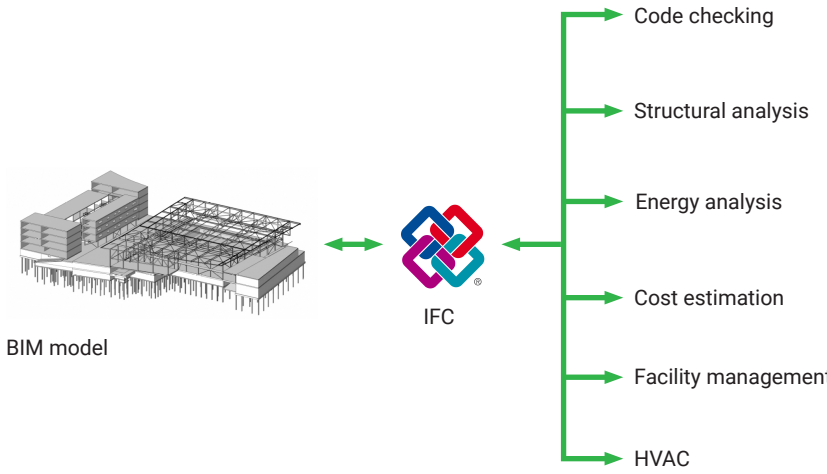


Figura 6: ambiti di interoperabilità del BIM.

In ambito di sostenibilità energetica è presente il formato *Green Building* XML[11] (gbXML) in grado di soddisfare l'interscambio di informazioni tra i diversi software di analisi energetica e il modello BIM. Sviluppato dalla *Green Building Studio Inc.*, questo standard di formato oggi rappresenta quello maggiormente impiegato in quanto al suo interno presenta più di 500 tipi di elementi e attributi che descrivono gli aspetti dell'edificio. Consente infatti una descrizione dettagliata della costruzione utilizzabile per la determinazione del costo di funzionamento, dell'inquinamento prodotto, del fabbisogno energetico e del comfort.

A seconda del tipo di approccio adoperato, si possono considerare diverse categorie di progettazione integrata tramite la modellazione parametrica:

- 3D BIM: in grado di produrre disegni 2D o 3D basando il processo su un insieme di dati che descrivono gli oggetti virtualmente, imitando il modo in cui saranno gestiti fisicamente nel mondo reale.
- 4D BIM: dove la quarta dimensione è rappresentata dal tempo. Consente ai progettisti e manager di individuare i problemi di pianificazione legati alla durata dei lavori e di analizzare le sovrapposizioni e l'accessibilità più efficacemente rispetto ai cronoprogrammi classici. Riesce quindi a rappresentare l'oggetto progettato non solo nella sua versione finale ma anche nella sua evoluzione temporale di cantiere.
- 5D BIM: dove il costo rappresenta la successiva dimensione introdotta. Permette di poter estrapolare informazioni relative ai costi in maniera tale da monitorare i budget ed effettuare *cost analysis* relativi alle attività.

11 *eXtensible Markups Language:* linguaggio informatico il quale permette ai programmi software di comunicare attraverso semplici iterazioni scritte. Solitamente è possibile aprire un file XML con un programma di scrittura e visionare facilmente le informazioni contenute in esso.

- 6D BIM: nel quale il focus viene spostato sul concetto di ciclo di vita. Si tratta quindi di un modello BIM in grado di archiviare qualsiasi tipo di informazione, facilitando le operazioni di f*acility management* (McPartland, 2017).

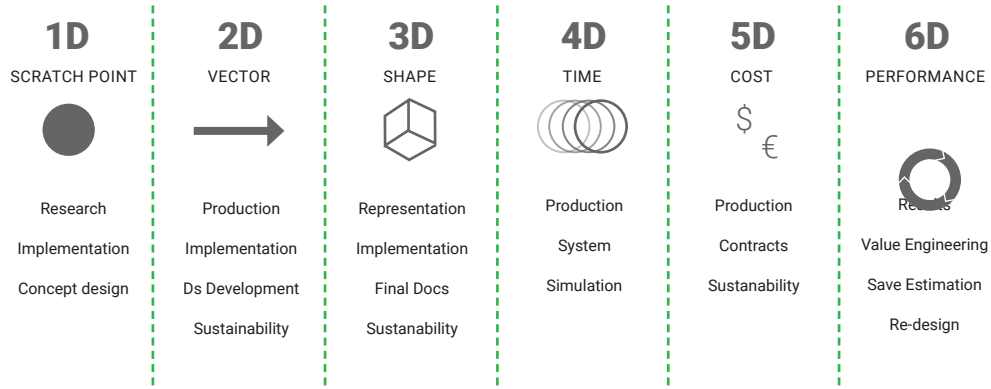


Figura 7: schema esemplificativo delle dimensioni del BIM.

L'interoperabilità è il potenziale più promettente del BIM e la base per il suo sviluppo massivo. Questa si realizza quando il BIM viene compreso ed integrato come protocollo di progettazione e come strumento di gestione dei flussi di lavoro, fornendo supporto a tutto il processo edilizio.

Un requisito fondamentale al fine dell'integrazione tra i vari soggetti coinvolti nella progettazione,è rappresentato dalla qualità delle informazioni contenute nel modello BIM. Vi è quindi la necessità di avere una struttura regolamentata per amministrare al meglio i contenuti informativi. A tal proposito sono stati ideati i LOD (acronimo inglese di *levels of development)* i quali rappresentano il livello di sviluppo che le informazioni del modello devono raggiungere secondo le necessità finali. Questo acronimo non è da confondere con "*level of details*" il quale fa riferimento al solo dettaglio grafico degli elemento e non alle informazioni contenute.

Il concetto di LOD è stato sviluppato in origine dall'azienda informatica Vico Software il quale si occupa principalmente della creazione di applicativi per la gestione della contabilità di cantiere. Grazie poi all'intervento dell'*American Institute of Architects* e del "BIM Forum", ente di ricerca e divulgazione sulle pratiche BIM, si è definito il seguente schema:

- LOD100: gli elementi sono generalmente rappresentati da un simbolo, non necessariamente fedele per forma, estensione o localizzazione;

- LOD200: gli elementi vengono rappresentati in maniera approssima per forma, dimensioni e localizzazione, con la possibilità di comportarsi da link verso documenti loro allegati;

- LOD300: gli elementi sono definiti per forma, quantità, dimensione e posizione, mantenendo la possibilità di comportarsi da link verso documenti loro allegati;
- LOD350: gli elementi si differenziano dal precedente LOD350 per la possibilità di integrare anche parametri di relazione con altri insiemi di elementi presenti nel progetto; in tal modo, distanze reciproche, lunghezza di tracciati o componenti, vincoli e rispetti possono essere quantificati direttamente dal modello, senza riferirsi a documenti specifici;
- LOD400: gli elementi includono dati sulla forma, quantità, dimensione, posizione, dettagli di assemblaggio, istruzioni di posa e caratteristiche di fabbricazione;
- LOD500: gli elementi sono stati verificati in opera, confermandone i dati su forma, quantità, dimensione e posizione.

A fonte di uno sviluppo così importante, diversi governi in tutto il mondo hanno introdotto normative di rifermento per la promulgazione e la standardizzazione dei processi BIM.

_ SVILUPPO DEL BIM

La Direttiva Europea 2014/24/EU riporta alcune indicazione rivolte ai Paesi membri riguardo l'utilizzo dei sistemi BIM nella progettazione e realizzazione delle opere pubbliche. Il periodo di recepimento delle indicazioni è stato fissato a trenta mesi indicando le metodologie di gestione e verifica delle informazioni contenute nel processo edilizio. L'articolo 22 c.4 fa riferimento al ricorso di "strumenti elettronici specifici, quali strumenti di simulazione elettronica per le informazioni edilizie o strumenti analoghi", mentre l'articolo 52 enfatizza l'importanza di tali strumenti per "accrescere l'efficacia e la trasparenza delle procedure di appalto" (BIM Group, 2014).

Negli ultimi anni, l'introduzione del BIM è stato favorito soprattutto dalla direttiva EUPPD (*European Union Procurement Directive*) approvata dal parlamento Europeo il quale, entro il 2016, invita i Paesi Membri all'uso del BIM come standard di riferimento per i progetti e lavori a finanziamento pubblico. L'adozione a livello europeo della metodologia BIM non solo ridurrebbe il costo dei progetti edilizi finanziati con fondi pubblici, ma rafforzerebbe la competitività globale del mercato europeo nell'aggiudicarsi contratti edilizi nel panorama internazionale. Tale modello ha le potenzialità di rendere più efficaci gli investimenti e può fornire importanti stimoli ed incentivi per una crescita e uno sviluppo sostenibile.

In Italia, l'introduzione del BIM è stata messa in luce dall'approvazione del "Nuovo Codice Appalti" da parte del Consiglio dei Ministri il 3 marzo 2016. L'articolo 23 c.13 riporta: *"Le stazioni appaltanti possono richiedere per le nuove opere nonché per interventi di recupero, riqualificazione o varianti, prioritariamente per i lavori complessi, l'uso dei metodi e strumenti elettronici specifici di cui al comma 1, lettera h). Tali strumenti utilizzano piattaforme interoperabili a mezzo di formati aperti non proprietari, al fine di non limitare la concorrenza tra i fornitori di tecnologie e il coinvolgimento di specifiche progettualità tra i progettisti. L'uso dei metodi e strumenti elettronici può essere richiesto soltanto dalle stazioni appaltanti dotate di personale adeguatamente formato. Con decreto del Ministero delle infrastrutture e dei trasporti, da adottare entro il 31 luglio 2016, anche avvalendosi di una Commissione appositamente istituita presso il medesimo Ministero, senza oneri aggiuntivi a carico della finanza pubblica sono definiti le modalità e i tempi di progressiva introduzione dell'obbligatorietà dei suddetti metodi presso le stazioni appaltanti, le amministrazioni concedenti e gli operatori economici, valutata in relazione alla tipologia delle opere da affidare e della strategia di digitalizzazione delle amministrazioni pubbliche e del settore delle costruzioni. " […]* (Consiglio dei Ministri, 2016).

Inizialmente era prevista l'obbligatorietà di "metodi e strumenti elettronici" ma, come si evince dalla norma, questo viene reso facoltativo. Il BIM potrà essere utilizzato a discrezione del progettista e solo successivamente si valuteranno gli interventi necessari e le tempistiche per la sua graduale diffusione obbligatoria, in base alla tipologia delle opere, al loro importo e ai sistemi di monitoraggio (Ferraris, 2016). In termini di "obblighi", la prima tappa è fissata al 2019 per le opere il cui costo supera i 100 milioni di euro e con scadenze progressive fino al 2022, anno in cui il sistema regolamentare entrerà a pieno regime seguendo un criterio legato alla complessità delle opere e non al loro valore (Negri, 2017).

A livello europeo, i leader dello sviluppo normativo del BIM sono i Paesi Scandinavi. In Norvegia, l'uso del BIM è stato promosso dal Statsbygg (*Norwegian Directorate of Public Construction and Property*) il quale ha introdotto il vincolo dell'utilizzo dell'IFC in tutti i progetti a partire dal 2010 e di utilizzare il BIM per l'intero ciclo degli edifici. Inoltre, è stata definita una sorta di "manuale BIM" il quale racchiude linee guida basate sugli standard CAD norvegesi ed in coordinamento con il *National BIM Standards* (NBIMS) statunitense. In maniera analoga, anche la Danimarca, tramite la DECA (*Danish Enterprise and Construction Authority*), ha avviato a partire dal 2007 l'introduzione di requisiti riguardanti l'interoperabilità quali formati IFC per i progetti correnti. In Finlandia, l'ente pubblico "*Senate Properties*", ha avviato dei progetti sperimentali per l'utilizzo di BIM e IFC a partire dal 2001 con la successiva stesura di linee guida a riguardo. Una volta verificata la sua possibilità, l'uso del BIM è stato imposto a partire dal 2007 (Osello, 2012).

Il Regno Unito si è dimostrato anch'esso attivo nell'impiego del BIM nel ramo pubblico fondando nel 2011 un T*ask Group BIM*. Uno dei risultati principali è stato lo sviluppo di un programma di supporto e formazione in merito all'impiego della metodologia BIM. Inoltre, il governo richiede una totale progettazione BIM 3D nel quale tutte le informazioni del progetto e del manufatto, la documentazione e i dati siano elettronici. Nel 2011, il *National Building Specification* (NBS) ha annunciato lo sviluppo della *National BIM Library*, una libreria digitale di oggetti gratuita e facilmente accessibile online da tutti i professionisti del settore.

In Italia, il passaggio all'utilizzo di metodologie BIM sembra ancora lontano ma è in via di definizione grazie ad alcuni progetti che vedono soprattutto la collaborazione con il mondo universitario. Uno di questi è *InnovANCE*, finanziato dal Ministero dello sviluppo Economico nell'ambito Industria 2015 (Bando Efficienza Energetica), il cui obiettivo è quello di creare una banca dati nazionale di libero accesso basata sul BIM. Il progetto, iniziato nel 2011 e terminato nel 2015, ha come obiettivo quello di fornire il primo database BIM italiano con l'intento di favorire lo scambio di informazioni tra professionisti. Il progetto è in grado di dare la possibilità al progettista di gestire tutte le fasi del processo costruttivo di un edificio, riducendo errori e costi. Al progetto collaborano i principali soggetti del settore quali: ENEA per l'energia; i Politecnici di Milano e Torino, ITC-CNR ed Università di Napoli per la ricerca e la progettazione; ISTEDIL per le prove sui materiali ed i componenti; SAP, ICM e One Team (Autodesk) per l'informatica; AncEnergia ed il Consorzio Tre per le imprese; le associazioni dei produttori per la produzione manifatturiera, meccanica, ecc.

A livello europeo troviamo invece STAND-INN, *Standard and Innovation*, progetto al quale partecipa anche l'Italia dal 2006, rappresentata da UNI e IAI italiana. L'obiettivo è quello di condurre il settore delle costruzioni in una evoluzione concettuale secondo la quale gli edifici e i prodotti da costruzione rappresentano dei servizi progettati per agevolare le prestazioni di gestione relative all'intero ciclo di vita e per attribuire valore aggiunto ai servizi in modo tale da rispondere alle mutate esigenze dell'utenza finale. UNI e IAI Italia hanno lavorato per definire le *Industry Foundation Classes*, sviluppate sulla base della norma ISO-STEP 10303, oggi norma ISO-PAS 16739, e attualmente collaborano per la definizione di un tavolo tecnico presso il Ministero dei Lavori Pubblici.

2 Introduzione alla metodologia Cost Optimal

Scopo di questo capitolo è quello di focalizzare l'attenzione sul concetto di sostenibilità, estendendo la sua definizione comunemente associata ai soli aspetti ambientali. Particolare importanza viene data alla relazione tra sostenibilità e progettazione odierna, nella quale la responsabilità dell'architetto viene coinvolta, soprattutto nella risoluzione di problematiche di carattere ambientale ed economico. Infatti, sempre più spesso emerge la forte necessità di procedure e di strumenti valutativi in grado di fornire informazioni utili circa la fattibilità di un progetto in relazione alle sue conseguenze ambientali. In tale contesto l'utilizzo del BIM può rivelarsi uno strumento determinante, in grado di assistere e interagire con diversi sistemi al fine della valutazione energetica ed economica del progetto.

_ARCHITETTURA:
tra responsabilità sociale e sviluppo sostenibile

Le tematiche riguardanti lo sviluppo sostenibile furono introdotte in maniera significativa a partire dal 1972 quando il Club di Roma[1] catturò l'opinione pubblica grazie al celebre rapporto *The Limits to Growth*[2]. Lo studio prese in considerazione la continua crescita della popolazione in rapporto alle sue conseguenza sull'ecosistema terreste e sulla stessa specie umana. La conclusione si può riassumere nel concetto che se i tassi di crescita della popolazione, dell'industrializzazione, dell'inquinamento, della produzione di cibo e dello sfruttamento delle risorse fossero continuati inalterati, i limiti della crescita su questo pianeta sarebbero stati raggiunti in un momento imprecisato entro i successivi cento anni, con il conseguente regresso improvviso e incontrollabile della popolazione e della capacità industriale (Meadow, Meadows, Randers, & Behrens, 1972).

Nel 1987 grazie al Rapporto Brundtland, conosciuto anche come *Our Common Future*[3], arrivò la prima definizione di sviluppo sostenibile definito come "*uno sviluppo che soddisfi i bisogni del presente senza compromettere la possibilità delle generazioni future di soddisfare i propri*" (WCED, 1987). Nel rapporto si legge ancora: "*la sostenibilità ha quattro dimensioni interdipendenti: ecologica, sociale, economica e culturale. Gli aspetti economici della sostenibilità comprendono performance finanziarie, compensazioni occupazionali, contributi della comunità*. [...] *Gli aspetti ambientali comprendono l'impatto su aria, acqua, terra, risorse naturali e salute umana*. [...] (WCED, 1987).

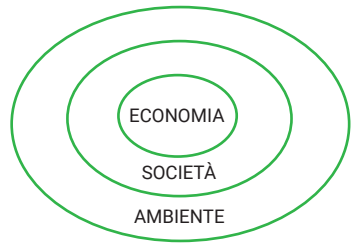


Figura 8: Ambiti che definisco il concetto di sostenibilità

1 Organizzazione costituita nell'aprile del 1968 a Villa Farnesina, Roma, da un gruppo di diplomatici, industriali, accademici, personalità di spicco e premi Nobel, con l'obiettivo di sensibilizzare i leader mondiali e i principali responsabili delle decisioni sulle questioni critiche per il futuro.

2 Lo studio fu commissionato dal Club al *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) e pubblicato da Donatella H. Meadows, Dennis L. Meadows, Jørgen Randers e William W. Behrens III.

3 Il rapporto fu rilasciato dal WCED, la Commissione Mondiale sull'Ambiente e lo Sviluppo.

Da queste definizioni si può constatare come il Rapporto Brundtland presuma anche uno sviluppo economico compatibile con l'equità sociale e gli ecosistemi, preservando la qualità e la quantità del patrimonio e delle riserve naturali, operando in regime di equilibrio ambientale. Questo rappresenta in sintesi il rapporto tra Economia, Equità sociale ed Ecologia, la cosiddetta "Regola dell'equilibrio delle tre E". Il concetto fu ampliato ulteriormente nel 2001 quando L'UNESCO introdusse la "diversità culturale" come quarto pilastro dello sviluppo sostenibile.

Nel processo di sviluppo sostenibile l'edilizia ricopre un ruolo determinate. Secondo indagini dell'International *Energy Agency*[4], un'ampia quota di energia primaria è attribuibile agli edifici i quali rappresentano più di un terzo del consumo globale finale di energia. Per la realizzazione degli edifici si utilizza il 10% dell'energia e il 12% dell'acqua potabile, oltre a circa tre miliardi di tonnellate di materie prima (il 40/50% del totale dell'economia mondiale) per la fabbricazione di prodotti e componenti edilizi. Inoltre, il settore edile ha ripercussioni ambientali grazie anche ad un utilizzo massivo di materiali contente un'elevata energia inglobata[5], il consumo di suolo, la produzione di rifiuti liquidi e solidi. La maggior parte dell'energia consumata dagli edifici è utilizzata per il controllo della temperatura, circa il 66% per il settore residenziale e 39% per il settore dei servizi. Il resto dell'energia è utilizzato per la produzione di acqua calda sanitaria (14%), elettrodomestici (9%), consumi domestici (5%) e illuminazione (3%) (IEA, 2013).

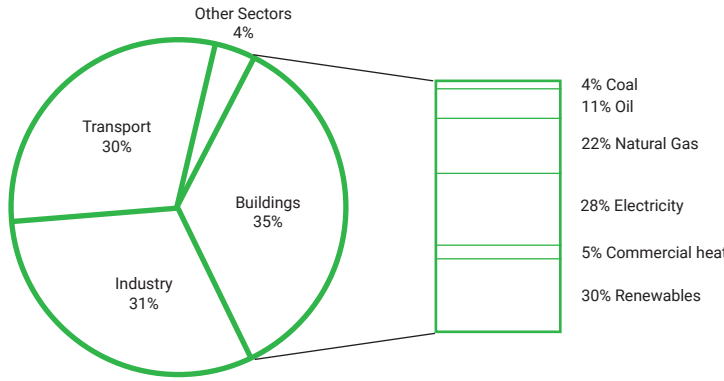


Figura 9: Consumo finale di energia per settore. Fonte: International Energy Agency.

4 L'Agenzia internazionale dell'energia (AIE, in lingua inglese *International Energy Agency,* IEA) organizzazione internazionale intergovernativa fondata nel 1974 dall'Organizzazione per la Cooperazione e lo Sviluppo Economico (OCSE) in seguito allo shock petrolifero dell'anno precedente. Lo scopo dell'agenzia è quello di facilitare il coordinamento delle politiche energetiche dei paesi membri per assicurare la stabilità degli approvvigionamenti energetici (principalmente petrolio) al fine di sostenere la crescita economica. Recentemente l'agenzia ha esteso il suo mandato verso la direzione dello sviluppo sostenibile, occupandosi anche di protezione dell'ambiente e cambiamenti climatici.

5 Quantità di energia necessaria per produrre, trasportare fino al luogo di utilizzo, e smaltire un prodotto o un materiale o per assicurare un servizio.

All'interno di questo scenario, l'architettura oggi possiede conoscenze tecnologiche in grado di generare complesse soluzioni compositive e strutturali. Potenzialmente, queste possono permettere di progettare edifici in grado di generare la stessa quantità di energia che consumano, senza compromettere i livelli di comfort abitativo. Nonostante ciò, continua a crescere una certa incertezza riguardo al nostro futuro. Avendo oramai raggiunto un punto critico, la speranza è quella di una generale presa di coscienza della fragilità del nostro pianeta, con la consapevolezza che esistono le conoscenze e i mezzi per poter intervenire con efficaci misure correttive. Il nostro ambiente e quello delle generazioni future dipendono in massima parte dalle decisioni che siamo chiamati a prendere oggi. (Luebkeman, 2008).

Il miglioramento sociale, quindi, può essere un obiettivo possibile da raggiungere ma, per poterlo realizzare, è necessario una complessa riorganizzazione collettiva. La barriera più grande è rappresentata dalla concezione comune a non pensare in termini concreti e di non credere in un futuro caratterizzato dall'edilizia sostenibile. Architetti e ingegneri sono in condizione di sviluppare le fondamenta per un futuro migliore e sostenibile, inserito in un contesto di globalità, non come se fosse un'utopia, ma nei precisi dettagli di cui una realtà urbana si compone (Hegger, 2008).

_Dalla sostenibilità economica al COST OPTIMAL

In un'ottica di sostenibilità è indispensabile effettuare scelte volte alla massimizzazione delle risorse disponibili, al fine di ottenere uno sviluppo bilanciato del sistema economico, sociale ed ecologico. Il processo di valutazione deve quindi essere svolto attraverso analisi interdisciplinare in grado di considerare tutti gli impatti generati dalle diverse soluzioni adottate. L'obiettivo della sostenibilità è quindi perseguibile solamente attraverso una valutazione integrata (Mondini, 2009).

Risulta quindi necessario il ricorso ad un'analisi orientata al ciclo di vita[6] dell'edificio, il quale permette di trarre vantaggio da una serie di potenzialità sia in campo economico che energetico. Dato che la costruzione di un edificio comporta un ingente investimento di capitali, normalmente l'attenzione degli investitori si concentra per lo più sui relativi costi iniziali, mentre si tende a trascurare gli oneri derivanti dalla gestione successiva che possono raggiungere valori di gran lunga superiori ai costi di costruzione.

6 Insieme delle fasi che rappresentano tutto il processo che intercorre dall'ideazione alla realizzazione del progetto, fino al suo smaltimento.

Negli ultimi tempi, in abito edilizio si è cercato sempre più di integrare la sfera economica con quella energetica studiando il rapporto tra costi e benefici, ovvero il rapporto tra livelli di prestazione energetica raggiunti e i costi che questi comportano. A tal proposito, la Direttiva Europea 2010/31/CE del 19 maggio 2010 introduce il *Cost Optimal* definendolo come il livello di prestazione energetica ottimale in funzione dei costi ("*Cost Optimal level of energy performance*") (European Parliament, 2010). Il legame tra sostenibilità economica ed ambientale è rafforzato dalla ricerca di una progettazione "realizzabile" (analisi del costo ottimale) ed "accessibile" (il costo ottimale permette maggior accesso al bene).

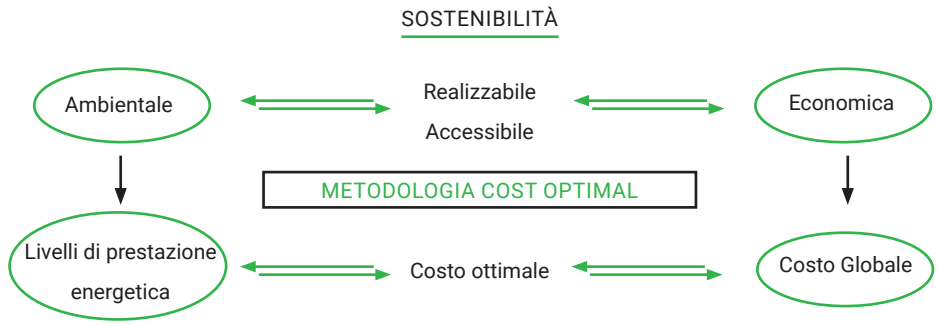


Figura 10: Schema esemplificativo della relazione Cost Optimal e Sostenibilità.

Nello specifico, la Direttiva definisce il costo ottimale come "*la quantità di energia necessaria per il soddisfacimento del fabbisogno energetico dell'edificio, che richiede il costo più basso durante il ciclo di vita economico stimato dall'edificio stesso*". La ricerca del livello ottimale in funzione dei costi permette quindi di individuare l'ipotesi progettuale più conveniente dal punto di vista energetico-economico. Rappresenta quindi una linea guida per effettuare scelte progettuali per quanto riguarda il sistema architettonico ed impiantistico. Questa metodologia favorisce la progettazione sostenibile in quanto permette di ridurre i costi durante il ciclo di vita ma allo stesso tempo produce benefici ambientali e sociali (Europea Commission, 2012).

A livello energetico l'approccio dovrebbe avvenire attraverso tre fasi, le "Trias Energetica Principale":

- Ridurre la domanda di energia evitando gli sprechi e aumentare le misure di risparmio energetico;
- Utilizzare fonti di energia sostenibili come il vento, il sole, acqua e suolo;
- Usare energie fossili nel modo più efficiente.

A livello economico, invece, la metodologia si basa sul calcolo del costo globale, normato nel documento Standard EN 15459:2007 del CEN (*European Commettee for Standardization*)[7]. Le sue finalità principali sono: considerare la fattibilità economica di opzioni per il risparmio energetico, comparare soluzioni diverse, valutare la performance economica di un progetto, quantificare l'effetto di interventi volti al risparmio energetico su edifici esistenti, comparando i diversi livelli di energia utilizzata (Fregonara, 2015).

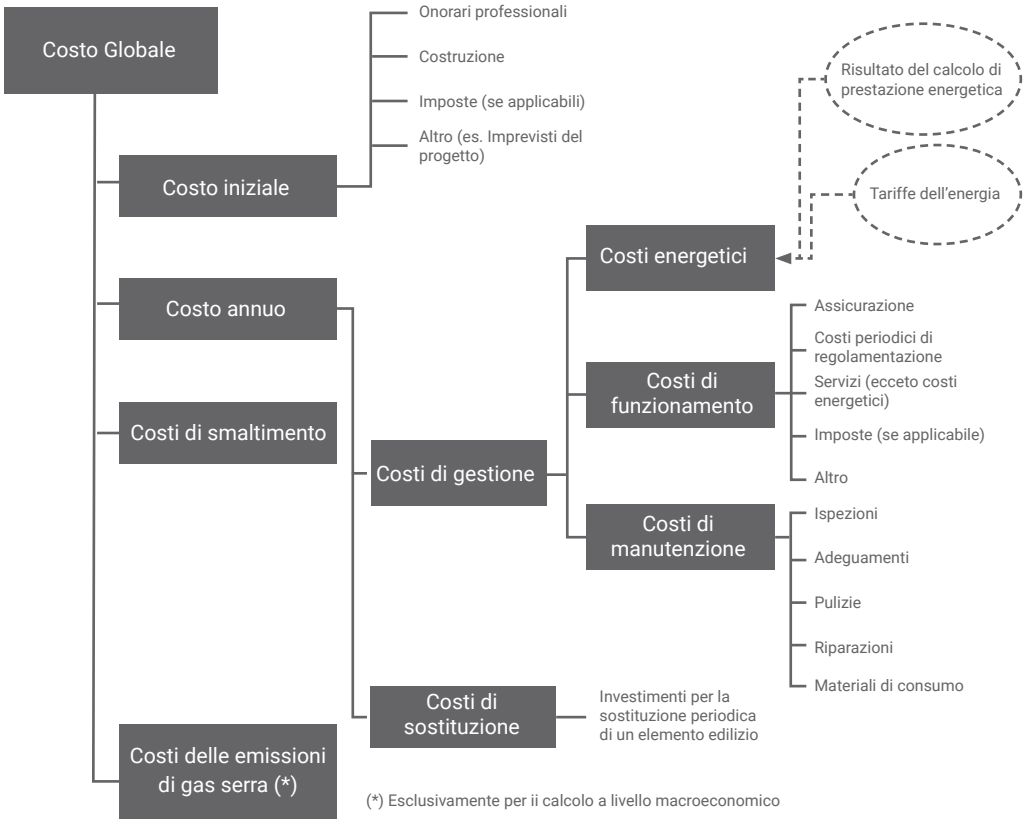


Figura 11: Categorizzazione dei Costi secondo Standard EN 15459:2007.

Il 19 aprile 2012, la Commissione Europea ha rilasciato l'orientamento numero 115/01 il quale accompagna il regolamento delegato UE 244/2012. In esso è possibile visualizzare le componenti che determina il costo globale formato dal costo dell'investimento iniziale, il costo annuo, i costi di smaltimento e i costi delle emissioni di gas serra. I costi legati alla fase di esercizio sono comprensivi di quelli legati alla

7 Ente normativo che ha lo scopo di armonizzare e produrre norme tecniche (EN) in Europa in collaborazione con enti normativi nazionali e sovranazionali quali per esempio l'ISO. Il CEN, fondato nel 1961, lavora in accordo alle politiche dell'Unione europea e dell'EFTA (Associazione europea di libero scambio) per favorire il libero scambio, la sicurezza dei lavoratori e dei consumatori, la protezione dell'ambiente, ecc...

sostituzione, manutenzione, funzionamento ed energetici. La formula seguente, inserita nel documento EN 15459, esprime il calcolo del costo globale come:

$$C_G(\tau) = C_I + \sum_j \left[\sum_{i=1}^{\tau} (C_{a,i}(j) \cdot R_d(i)) - V_{f,\tau}(j) \right]$$

$C_G(\tau)$= Global Cost, riferito all'anno iniziale τ=0;

C_I = Costi di investimento iniziali;

$C_{a,i}(j)$ = costo annuale all'anno i per il componente j (inclusi i costi di esercizio, manutenzione e sostituzione;

$R_d(i)$ = fattore di attualizzazione all'anno i;

$V_{f,\tau}(j)$ = valore finale del componente j alla fine del periodo i calcolo.

Le voci che compongono la formula sono:

- Il costo di investimento iniziale, rappresentato da tutti i costi iniziali da affrontare per la realizzazione del progetto;
- I costi di esercizio, riferiti alla fase di esercizio del sistema edificio-impianti e comprendono principalmente i costi da affrontare per il consumo energetico;
- I costi di manutenzione, relativi agli esborsi da sostenere per il corretto mantenimento di tutti i componenti compresi gli eventuali costi per la loro sostituzione;
- Il tasso di sconto, ovvero tasso d'interesse da impiegare per trasferire al tempo 0, ossia "ad oggi", un capitale finanziario esigibile ad una certa data futura.

Una volta effettuato questo calcolo per tutte le opzioni di progettazione/riqualificazione, il passo successivo è quello di confrontarlo con il relativo livello di prestazione energetica per ogni scenario individuato. Queste combinazioni possono essere rappresentate attraverso un grafico.

Sulle ascisse viene rappresentata l'energia primaria, in kWh/m^{2}anno, mentre sulle ordinate il costo globale, espresso in €/m^2. Tutte le opzioni di progetto, ovvero gli scenari analizzati, vengono raffigurate come punti all'interno del grafico all'interno del quale è possibile delineare una curva di tendenza denominata *cost curve* dove il punto minimo rappresenta il *Cost Optimal Level* individuata all'interno del *Cost Optimal Range*. Questo livello rappresenta quindi la linea di equilibrio tra i punti che

risentono maggiormente dell'incidenza del costo di investimento iniziale, nella parte sinistra del grafico, e quelli che risentono dei costi annuali, nella parte destra (Fabbri, Tronchin, & Tarabusi, 2013).

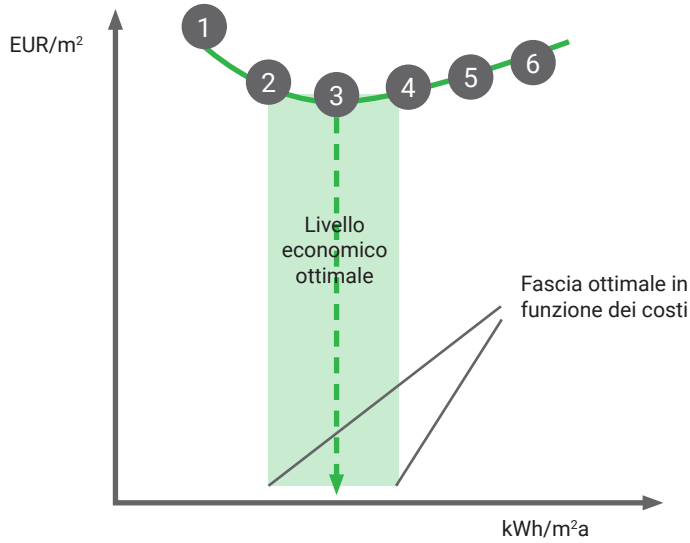


Figura 12: Grafico del Cost Optimal. Standard EN 15459:2007.

La metodologia *Cost Optimal* può rappresentare un strumento fondamentale in quanto permette agli Stati Membri di avere un approccio comune per la progettazione o riqualificazione economicamente realizzabile ed accessibile favorendo il "Target 20-20-20"[8]. L'intervento può essere considerato sostenibile se i benefici ottenuti durante il ciclo di vita risultano superiori al costo di realizzazione del manufatto.

_Metodologia BIM a supporto della COST OPTIMAL Analysis

Con l'attuale rivoluzione digitale l'obiettivo prefissato dall'Unione Europea è quello di ridurre il consumo di energia negli edifici, in particolare di quelli esistenti, mediante l'utilizzo degli strumenti ITC per il monitoraggio ambientale. Come già è stato detto nel capitolo precedente, l'adozione della metodologia BIM nel settore delle costruzioni ha supportato l'ottimizzazione delle strategie volte al risparmio energetico e alla sostenibilità attraverso la modellazione parametrica degli edifici e la relativa gestione dei dati.

8 Insieme delle misure pensate dalla UE per il periodo successivo al termine del Protocollo di Kyoto, sviluppate attraverso tre obiettivi da raggiungere entro il 2020: ridurre i gas ad effetto serra del 20%, ridurre i consumi energetici del 20% aumentando l'efficienza energetica; soddisfare il 20% del fabbisogno energetico europeo con le energie rinnovabili. Raggiungere gli obiettivi al 2020 dovrebbe contribuire a rafforzare la sicurezza energetica (riducendo la dipendenza dall'energia importata e realizzando l'Unione per l'Energia) e a creare occupazione, rendendo l'Europa più competitiva.

Effettuare un'analisi di tipo *Cost Optimal* è un processo complesso il quale necessita di una buona dose di organizzazione preliminare. L'interoperabilità avviene attraverso il modello BIM e diversi software in grado di eseguire la simulazione energetica del manufatto e calcolarne il Costo Globale. L'obiettivo in questa tesi è quello di presentare un modello di processo integrato utilizzabile sin dalle fasi preliminari della progettazione. In questa maniera, diventa possibile eseguire un controllo continuo delle prestazioni energetiche ed economiche le quali, a fronte di una successiva modifica, risulteranno automaticamente sempre aggiornati e coerenti con le modifiche alle soluzioni progettuali adottate.

Per comprendere questo passaggio, si riporta la schematizzazione della metodologia operativa utilizzata.

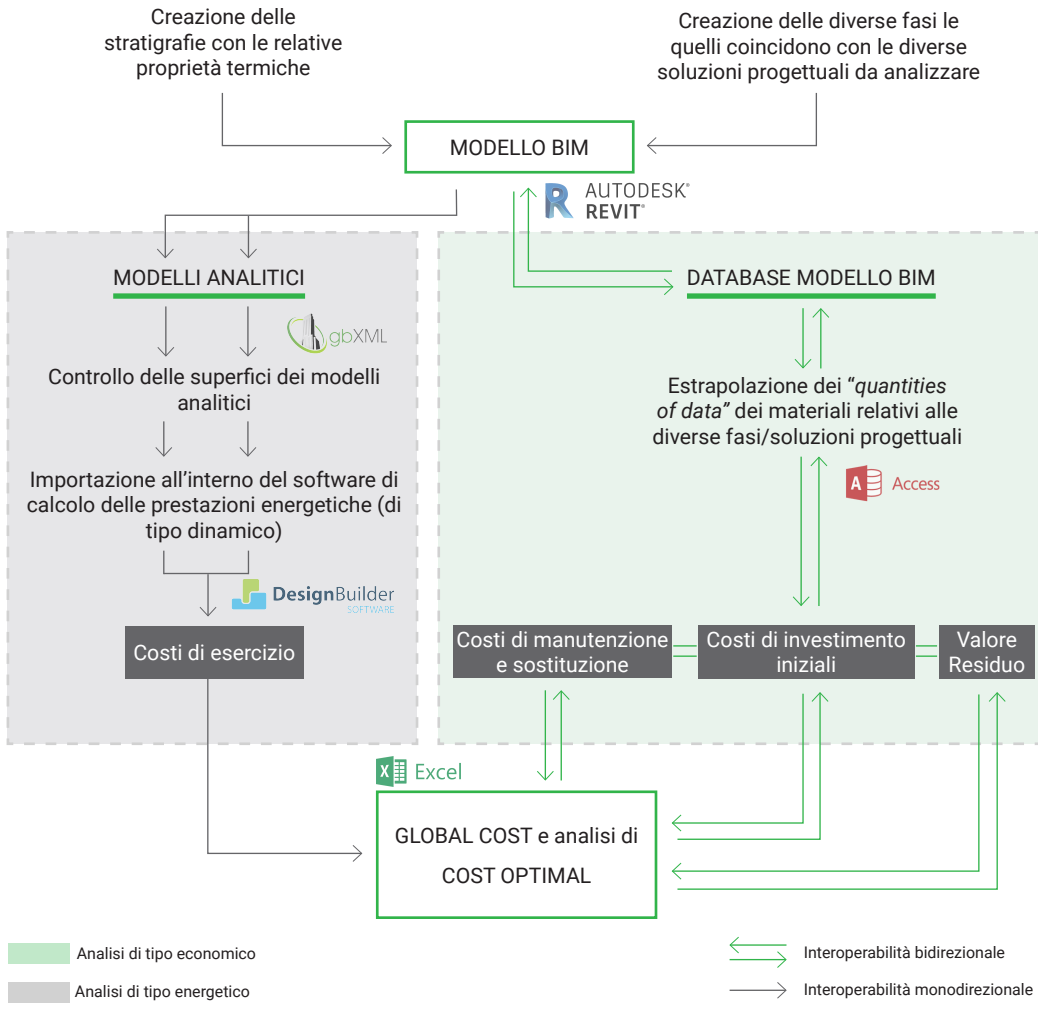


Figura 13: Schema della metodologia operativa utilizzata.

3 Il caso studio

In questo capitolo verrà illustrato il caso studio preso in esame per la parte applicativa di questa tesi. Si tratta di un progetto per la realizzazione di un centro diurno per malati di Alzheimer presso il Santuario del Trompone di Moncrivello, in provincia di Vercelli. Il contributo di questa tesi non ha riguardato gli aspetti architettonici del progetto ma si è focalizzato esclusivamente sulla scelta di soluzioni tecnologiche e la valutazione della loro sostenibilità.

_ IL SANTUARIO DEL TROMPONE

Il complesso è situato a Moncrivello, un comune di poco più di 1400 abitanti nella provincia di Vercelli. La costruzione incominciò nel 1563 quando il Marchese di Moncrivello commissionò la costruzione di una "Rotonda" come santuario celebrativo di un'apparizione mariana avvenuta poco tempo prima. Conclusa nel 1568, la struttura si rivelò sin da subito troppo piccola per accogliere tutti i pellegrini e si decise così di ampliarla mediante la costruzione di 3 navate, su progetto dell'ingegner Melchiorre Piantino concluso nel 1600. La custodia fu affidata ai Frati Francescani Minori i quali nel 1627 aprirono le porte del convento utilizzato sia come loro abitazione che per l'accoglienza dei numerosi pellegrini.

Negli anni tra il 1880-90 il complesso si ampliò nuovamente grazie all'Arcidiocesi di Vercelli la quale commissionò la costruzione di due palazzi in stile neoclassico per ospitare il Seminario Minore diocesano. Il 1970 segnò una svolta nella funzione del Santuario. L'Arcivescovo concesse a Monsignor Luigi Novarese, fondatore dei Silenziosi Operai della Croce, tutto il complesso affinché fosse adibito a centro di riabilitazione e sede di corsi professionalizzanti per persone affette da disabilità fisiche.

Figura 14: Vista aerea del Complesso

Nel 2006, fu inaugurata una nuova costruzione di fronte al Santuario utilizzata come casa di cura privata con attività di riabilitazione. Nella stessa struttura, si tengono corsi di Laurea Magistrale in Terapia Occupazionale in collaborazione con l'Università Cattolica del Sacro Cuore di Roma. Tra il 2005 e il 2011, hanno avuto luogo i lavori per la trasformazione dell'ex seminario in RSA (Residenza Sanitaria Assistenziale) avente la funzione di ospitare persone in stato vegetativo o affette da gravi patologie neurologiche e neuromuscolari.

_ BIM FOR HEALTH

Il progetto "BIM for health" riunisce un gruppo di tesisti i quali, in ambiti e competenze differenti, lavorano su diversi casi studio con l'obiettivo di sfruttare la metodologia BIM e l'interoperabilità a supporto delle strutture sanitarie. I vantaggi di questo processo sono svariati ed ancora in fase di ricerca e sviluppo.

Un aspetto importante è dato dall'integrazione del BIM per il *Facility Management*. Tramite questa procedura è possibile sfruttare la condivisione di informazioni contenute nel modello parametrico per la gestione dei locali in funzione della loro destinazione d'uso, capacità e occupazione piuttosto che per la gestione di attrezzature speciali e la manutenzione.

Un altro aspetto di notevole interesse è la possibilità di sfruttare le informazioni interattive del modello per integrare il BIM con la realtà virtuale. Questo aspetto può essere sfruttato a supporto della riabilitazione a livello neuromuscolare o semplicemente per effettuare tour virtuali della struttura anche da remoto e la possibilità di ispezionare parti dell'edificio non facilmente accessibili come stratigrafie e impianti

_ IL CENTRO DIURNO PER MALATI DI ALZHEIMER

Il caso studio analizzato in questa tesi riguarda la realizzazione di un centro diurno per malati di Alzheimer. Si tratta di una struttura sanitaria che presta servizi di ricovero di tipo *day hospital*, mediante programmi di assistenza e riabilitazione specifici per persone affette da questa malattia neurocognitiva.

Strutture di questo genere necessitano di una cura particolare per la realizzazione degli spazi che ospiteranno i pazienti. Essi, infatti, sono molto sensibili a ciò che gli circonda e il progettista deve adottare una serie di accortezze in maniera tale da progettare spazi adeguati alla loro accoglienza. Tuttavia, questo progetto di tesi non si occuperà degli aspetti legati alla progettazione architettonica in quanto sarà

tema di approfondimento di altri membri del gruppo di lavoro "*BIM for health*". Il focus principale riguarderà la valutazione della sostenibilità energetica ed economica di diverse soluzioni tecnologiche e impiantistiche.

Figura 15: Vista satellitare del Complesso con evidenziata l'area di intervento

Il centro diurno per malati di Alzheimer sorge nella prolungazione della manica ovest del Santuario del Trompone. Allo stato di fatto, l'edificio si trova adiacente al convento delle suore e consiste in un cascinale adibito ad uso magazzino.

Inizialmente si era pensato ad un progetto di recupero della struttura esistente. Il cascinale, però, presenta uno stato di conservazione decadente e ha un'altezza inferiore rispetto al convento delle suore. Questo aspetto può rivelarsi problematico in caso di collegamento tra le due strutture e non garantisce l'altezza necessaria per organizzare i locali su due piani fuori terra. Considerato anche che, a differenza del resto del complesso del Trompone, il cascinale non abbia una valenza storia significativa, si è deciso di optare per la sua demolizione e la costruzione di una nuova struttura.

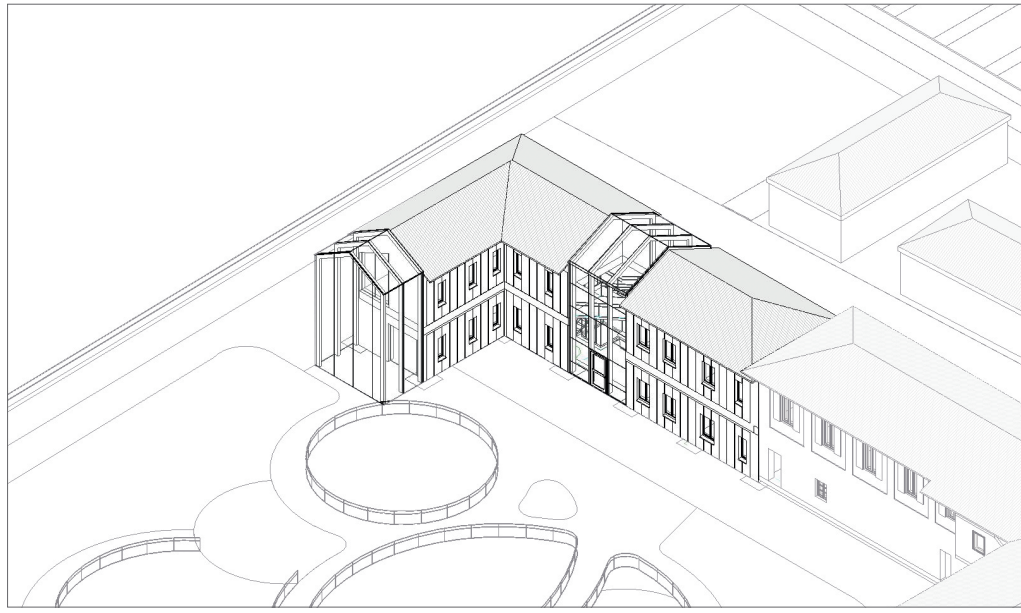


Figura 16: Vista assonometrica di progetto del centro diurno per malati di Alzheimer

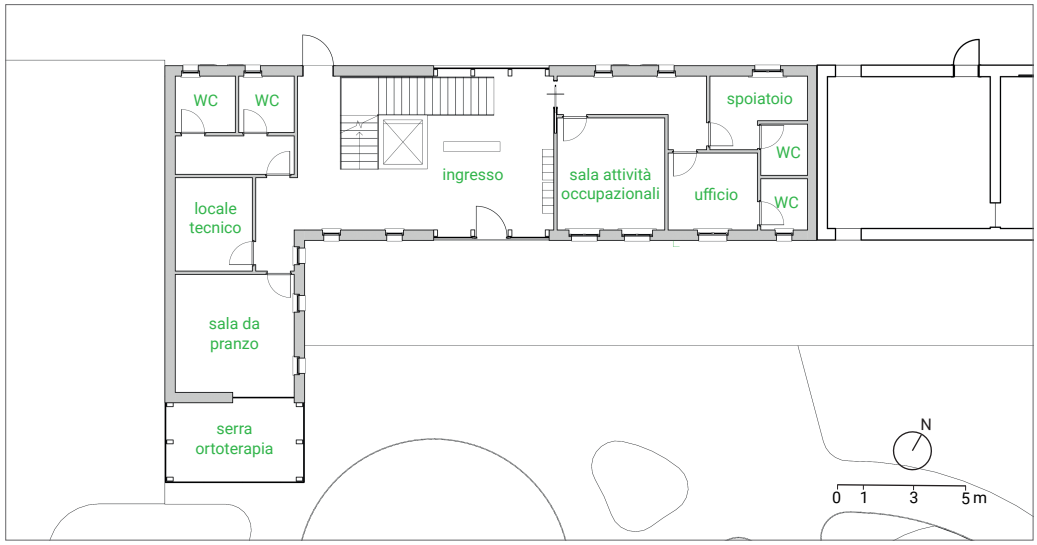
La nuova costruzione si erge su una struttura composta da travi e pilastri in acciaio. I tamponamenti sono "a secco" mediante pannelli "sandwich" all'interno del quale si interpongono pannelli osb e isolante sorretti da un telaio in legno. Al fine di ridurre gli apporti termici in regime estivo, si prevedono pareti esterne ventilate. Per maggiori dettagli sulle stratigrafie dei componenti opachi si rimanda al capitolo successivo.

I locali che ospitano le funzioni del centro si articolano intorno ad un'ampia hall centrale a tutta altezza. Questa zona è identificabile anche dall'esterno dal corpo vetrato centrale che crea un effetto di elemento "vuoto" interposto a due "pieni". Dal punto di vista fisico-tecnico, questo elemento ha rappresentato un punto debole per la performance energetica soprattutto per quanto riguarda la climatizzazione estiva. La scelta della tipologia di vetro e le schermature, hanno avuto un ruolo importante nell'analisi energetica.

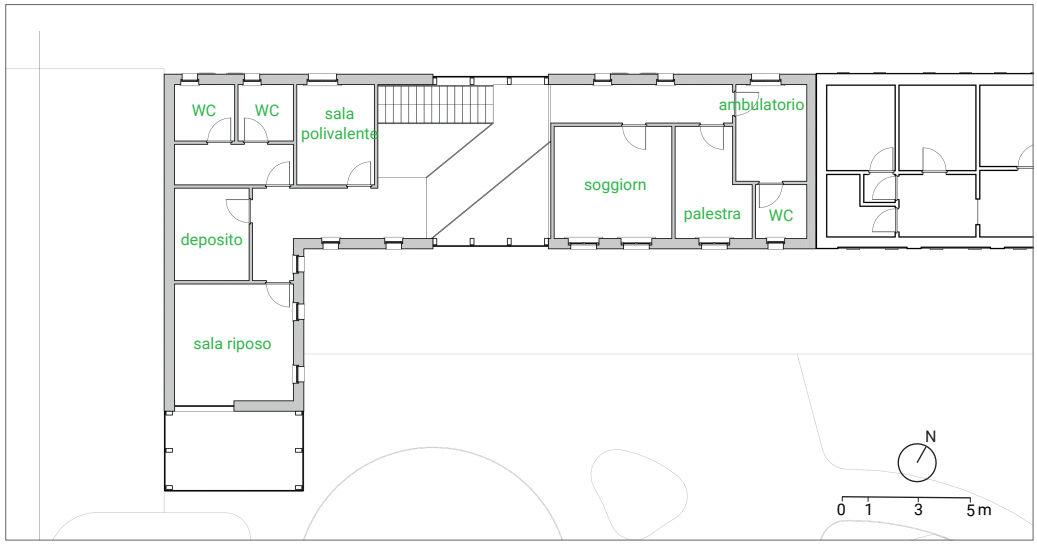
Un ulteriore elemento vetrato è stato inserito alla fine della manica nella zona confinante alla sala da pranzo. Si tratta di una serra all'interno della quale si prevedono attività legate all'ortoterapia e utilizzabili dai pazienti durante tutti i mesi dell'anno.

Attività ambulatoriali, palestra, locale tecnico, magazzino e uffici sono situati in locali specifici mentre nel resto della struttura si sviluppano spazi con destinazioni d'uso flessibili in grado di adattarsi a seconda del tipo di attività svolta all'interno.

_Pianta piano terra



_Pianta primo piano



Abaco dei locali

Nome	Categoria	Livello	Area	Volume
0 - Piano Terra				
Ingresso	Area ausiliaria	0 - Piano Terra	28.57 m²	91.09 m³
Circolazione	Area ausiliaria	0 - Piano Terra	23.85 m²	76.02 m³
Spogliatoio	Area di lavoro	0 - Piano Terra	8.72 m²	27.81 m³
Ufficio	Area di lavoro	0 - Piano Terra	10.46 m²	33.34 m³
Sala da pranzo	Area di supporto	0 - Piano Terra	21.34 m²	68.03 m³
Sala attività occupazionali	Area di supporto	0 - Piano Terra	18.35 m²	58.51 m³
Serra ortoterapia	Area di supporto	0 - Piano Terra	16.74 m²	111.96 m³
Scale	Collegamento verticale	0 - Piano Terra	11.95 m²	29.01 m³
Ascensore	Collegamento verticale	0 - Piano Terra	3.93 m²	9.58 m³
Disimpegno	Servizi all'edificio	0 - Piano Terra	10.80 m²	34.43 m³
wc	Servizi all'edificio	0 - Piano Terra	3.65 m²	11.62 m³
wc	Servizi all'edificio	0 - Piano Terra	3.65 m²	11.62 m³
wc utenti	Servizi all'edificio	0 - Piano Terra	17.77 m²	56.66 m³
Locale tecnico	Servizi all'edificio	0 - Piano Terra	10.96 m²	34.96 m³

1 - Primo Piano				
Magazzino	Area ausiliaria	1 - Primo Piano	10.49 m²	34.63 m³
Circolazione	Area ausiliaria	1 - Primo Piano	41.74 m²	137.75 m³
Ambulatorio	Area di lavoro	1 - Primo Piano	10.42 m²	34.40 m³
Palestra	Area di lavoro	1 - Primo Piano	11.40 m²	37.60 m³
Sala riposo	Area di supporto	1 - Primo Piano	21.14 m²	69.76 m³
Soggiorno	Area di supporto	1 - Primo Piano	20.06 m²	66.19 m³
Sala polivalente	Area di supporto	1 - Primo Piano	11.86 m²	39.12 m³
wc	Servizi all'edificio	1 - Primo Piano	4.20 m²	13.86 m³
wc utenti	Servizi all'edificio	1 - Primo Piano	17.85 m²	58.91 m³
Totale generale			339.90 m²	1146.84 m³

4 Ipotesi progettuali

In questo capitolo verranno esposte ed analizzate dal punto di vista energetico le varianti di progetto. Secondo gli Orientamenti che accompagnano il Regolamento Delegato UE n.244/2012[1], al fine di individuare il miglior intervento in termini di efficienza energetica in funzione dei costi, è necessario che il numero delle diverse soluzioni da valutare non sia inferiore a dieci pacchetti di combinazioni involucro/impianti. Per questo progetto, è stato deciso di impostare le variabili progettuali considerando diverse soluzioni in ambito costruttivo, di involucro e di sistema impiantistico. Inoltre, verrà illustrato l'iter operativo a favore dell'interoperabilità tra BIM e software di simulazione energetica di tipo dinamico.

_INVOLUCRO

Al fine di progettare soluzioni per l'involucro edilizio, è necessario individuare diversi livelli di prestazione energetica. Questi sono stati ricavati analizzando la normativa regionale di riferimento e ricercando ulteriori standard riguardo la progettazione di edifici ad elevate prestazioni energetiche in grado di ridurre notevolmente il fabbisogno di energia.

Il primo livello individuato è quello fornito dal D.G.R. n.46-11968[2] della Regione Piemonte il quale fornisce i limiti prestazionali dell'involucro edilizio in termini di fabbisogno energetico annuo per il riscaldamento ed isolamento termico. Viene preso come riferimento il 2°livello il quale rappresenta quello più astringente ma per il quale sono previste apposite iniziative di incentivazione.

REGIONE PIEMONTE

Gradi giorno Comune di Moncrivello: 2723

Volume edificio: 1000 m^3 < V < 2000 m^3

EPi[3] limite: 16 kWh/m^3a

Componenti	**U [W/m^2K]**
Trasmittanza termica delle strutture verticali opache	0,25
Trasmittanza termica delle strutture opache orizzontali o inclinate	0,23
Trasmittanza delle chiusure trasparenti (valore medio vetro/telaio)	1,7

1 Orientamenti che accompagnano il regolamento delegato (UE) n. 244/2012 del 16 gennaio 2012 della Commissione che integra la direttiva 2010/31/UE del Parlamento europeo e del Consiglio sulla prestazione energetica nell'edilizia istituendo un quadro metodologico comparativo per calcolare livelli ottimali in funzione dei costi per i requisiti minimi di prestazione energetica degli edifici e degli elementi edilizi.

2 Deliberazione della Giunta Regionale 4 agosto 2009, n. 46-11968 Aggiornamento del Piano regionale per il risanamento e la tutela della qualità dell'aria - Stralcio di piano per il riscaldamento ambientale e il condizionamento e disposizioni attuative in materia di rendimento energetico nell'edilizia ai sensi dell'articolo 21, comma 1, lettere a) b) e q) della legge regionale 28 maggio 2007, n. 13 "Disposizioni in materia di rendimento energetico nell'edilizia".

3 Indice di prestazione energetica dell'edificio per la climatizzazione invernale.

Il secondo livello utilizzato è rappresentato dagli standard energetici indicati dal Passivhaus Institut[4] (PHI) i quali riportano valori limiti decisamente più elevati in termini di risparmio energetico.

EPi limite: 15 kWh/m^{2}a

EPe[5] limite: 15 kWh/m^{2}a + contributo per deumidificazione

Componenti	**U [W/m^{2}K]**
Trasmittanza termica delle strutture opache	0,15
Trasmittanza delle chiusure trasparenti (valore medio vetro/telaio)	0,85

Sulla base di queste indicazioni sono state progettate due soluzioni per l'involucro opaco e due per quello trasparente. Combinandole tra loro è possibile individuare quattro soluzioni diverse di involucro che andranno a loro volta a combinarsi con altrettante soluzioni impiantistiche.

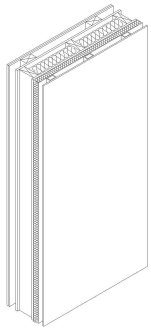
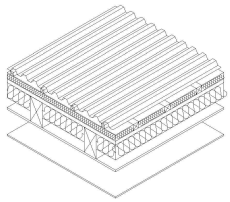
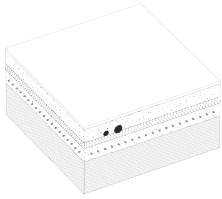
Per quanto riguarda l'involucro opaco sono stati progettati due diverse soluzioni di tamponamento. Si tratta di murature a secco con struttura a telaio in legno nella quale viene fatto variare lo spessore di isolante sino a raggiungere i limiti di trasmittanza termica indicati dai livelli di prestazione energetica presi in esame.

Lo stesso criterio è stato utilizzato per la creazione delle soluzioni di ivolucro trasparente. In entrambe le soluzioni viene adottato un telaio in legno ma varia la tipologia di vetro camenra passando da un vetro camera riempito ad argon ad una vetrata tripla riempita con gas krypton. Il calcolo delle trasmittanza è stato eseguito su un componente finestrato tipo.

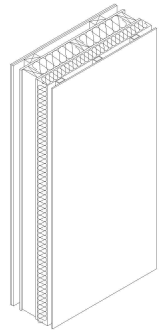
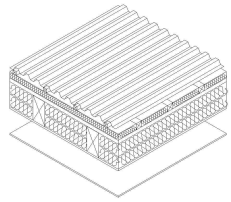
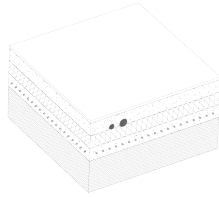
4 Istituto indipendente di ricerca fondato in Germania nel 1996 il quale ha avuto un ruolo decisivo nella definizione del concetto di casa passiva, ovvero di abitazione in grado di garantire assicura il benessere termico senza o con una minima fonte energetica.

5 Indice di prestazione energetica dell'edificio per raffrescamento estivo.

_Involucro opaco 1 (standard Regione Piemonte)

Componente	Stratigrafia	S [cm]	λ [W/mK]	U [W/m²K]
	Doppia lastra gesso fibra	2,5	-	
	Vano tecnico	6	-	
	Barriera al vapore	-	-	
	Pannello OSB	1,5	0,13	
	Isolante in spessore di telaio (14 cm)	10	0,04	**0,24**
	Pannello OSB	1,5	0,13	
	Cappotto esterno (fibra di legno)	5	0,04	
	Membrana impermeabilizzante	-	-	
	Camera d'aria parete ventilata	4	-	
Parete esterna_35,5 cm	Rivestimento esterno	1	-	
	Controsoffittatura	20	-	
	Membrana al vapore	-	-	
	Pannello OSB	1,5	0,13	
	Isolante in spessore di trave (20 cm)	12	0,04	
	Tavolato in legno	3	0,13	**0,22**
	Isolante	5	0,04	
	Membrana impermeabilizzante	-	-	
	Orditura per la ventilazione	3	-	
Copertura_55,5 cm	Lamiera	3	-	
	Tessuto non tessuto	-	-	
	Argilla espansa	25	0,09	
	Tessuto non tessuto	-	-	
	Soletta in C.A.	10	2,3	**0,23**
	Isolante a pannelli rigidi	5	0,04	
	Barriera al vapore	-	-	
	Massetto impianti	10	1,4	
Solaio controterra	Pavimentazione in ceramica	2	1,3	

_Involucro opaco 2 (standard Passivhaus)

Componente	Stratigrafia	S [cm]	λ [W/mK]	U W/m²K]
	Doppia lastra gesso fibra	2,5	-	
	Vano tecnico	6	-	
	Barriera al vapore	-	-	
	Pannello OSB	1,5	0,13	
	Isolante in spessore di telaio (14 cm)	14	0,04	**0,15**
	Pannello OSB	1,5	0,13	
	Cappotto esterno (fibra di legno)	10	0,04	
	Membrana impermeabilizzante	-	-	
	Camera d'aria parete ventilata	4	-	
Parete esterna_40,5 cm	Rivestimento esterno	1	-	
	Controsoffittatura	20	-	
	Membrana al vapore	-	-	
	Pannello OSB	1,5	0,13	
	Isolante in spessore di trave (20 cm)	20	0,04	
	Tavolato in legno	3	0,13	**0,15**
	Isolante	5	0,04	
	Membrana impermeabilizzante	-	-	
	Orditura per la ventilazione	3	-	
Copertura_55,5 cm	Lamiera	3	-	
	Tessuto non tessuto	-	-	
	Argilla espansa	25	0,09	
	Tessuto non tessuto	-	-	
	Soletta in C.A.	10	2,3	**0,18**
	Isolante a pannelli rigidi	10	0,04	
	Barriera al vapore	-	-	
	Massetto impianti	10	1,4	
Solaio controterra	Pavimentazione in ceramica	2	1,3	

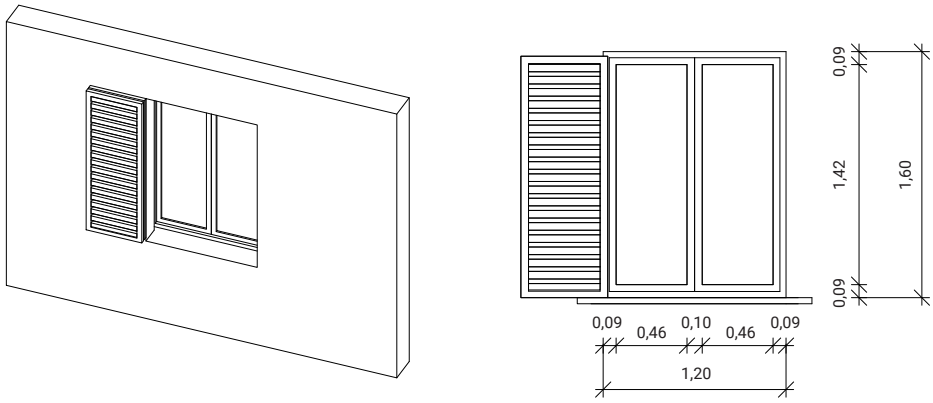


Figura 17: Componente finestrato "tipo" di progetto

_Involucro Trasparente 1 (standard Regione Piemonte)

Componenti	**S** **[mm]**	**U** **[W/m²K]**	**U_w (*)** **[W/m²K]**
Telaio in legno	60	1,3	**1,54**
Vetro camera_basso emissivo_argon	4-16-4	1,2	

_Involucro Trasparente 2 (standard Passivhaus)

Componenti	**S** **[mm]**	**U** **[W/m²K]**	**U_w (*)** **[W/m²K]**
Telaio in legno	60	1,3	**0,76**
Triplo vetro_basso emissivo_Kripton	4-12-4-12-4	0,5	

(*) valore calcolato su componente finestrato "tipo" del progetto.

_Preparazione del modello BIM per L'ESPORTAZIONE DEL MODELLO ENERGETICO

Una volta definite le stratigrafie è possibile procedere al loro inserimento all'interno del software BIM. Il programma utilizzato è Revit 2018, prodotto della società Autodesk[6], ad oggi uno dei software di modellazione parametrica più sviluppati ed utilizzati. Esso è caratterizzato da un'interfaccia *user-friendly* e da una serie di librerie di oggetti, sviluppate sia dalla stessa Autodesk che da soggetti terzi. Il punto di forza del programma, però, riguarda la possibilità di supportare numerose estensioni quali: DWG, DXF, IFC, htlm e soprattutto gbXML. Quest'ultima estensione è in grado di generare un output il quale assicura la piena interoperabilità con vari software di simulazione energetica.

Al momento dell'imputazione delle caratteristiche termofisiche dei materiali che compongono le varie stratigrafie degli elementi architettonici, è fondamentale tener conto di alcune accuratezze. Di tutte le componenti dei vari elementi dell'involucro edilizio, escludere l'input delle proprietà termo-fisiche a quegli strati che non influenzano il calcolo della trasmittanza in maniera rilevante. In questo progetto, questa operazione è stata svolta per gli strati "membrana", per le intercapedini d'aria fortemente ventilate e per tutti gli strati che separano la stessa dall'ambiente esterno, come indicato dalla norma UNI EN ISO 6946:2008. Infatti, nelle tabelle di riepilogo delle stratigrafie dell'involucro opaco, questi valori non sono stati riportati.

Modifica assieme

Famiglia:	Muro di base
Tipo:	Muro Esterno - Sc1
Spessore totale:	0.3550
Resistenza (R):	4.9808 (m²·K)/W
Massa termica:	31.14 kJ/K

Strati

LATO ESTERNO

	Funzione	Materiale	Spessore
1	Finitura 1 [4]	Pannello di finitura	0.0100
2	Strato Termico/Camera d'aria [3]	Parete Ventilata	0.0400
3	Strato Termico/Camera d'aria [3]	_sc1_fibra di legno 50 mm	0.0500
4	**Contorno del nucleo**	**Strati sopra ripiegatura**	**0.0000**
5	Strato membrana	Membrana Impermeabilizzante	0.0000
6	Struttura [1]	_sc1_Pannello OSB esterno	0.0180
7	Struttura [1]	_sc1_fibra di legno 140mm	0.1400
8	Struttura [1]	Pannello OSB	0.0120
9	Strato membrana	Barriera al vapore	0.0000
10	**Contorno del nucleo**	**Strati sotto ripiegatura**	**0.0000**
11	Strato Termico/Camera d'aria [3]	vano impianti	0.0600
12	Finitura 2 [5]	Lastra gessofibra	0.0125
13	Finitura 2 [5]	Lastra gessofibra	0.0125

Figura 18: Pannello di modifica componenti murari in Revit 2018.

6 Software house americana nata nel 1982 e leader del mercato della progettazione digitale grazie a numerosi software tra cui i celebri AutoCAD e 3D Studio Max . Dal 2012 ha introdotto Revit come software BIM.

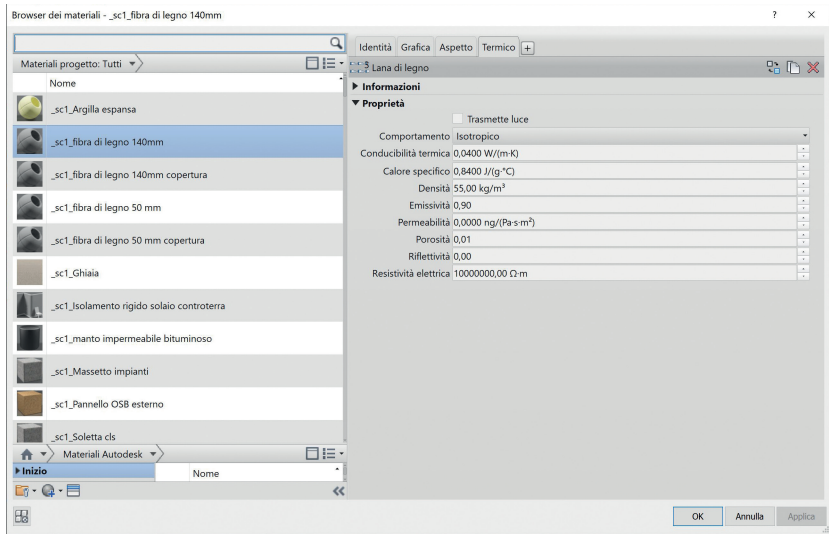


Figura 19: Finestra dell'editor delle proprietà dei materiali in Revit 2018.

Nella fase di inserimento dei muri nel modello è di fondamentale importanza controllare l'orientamento del muro. Affinché il modello energetico risulti corretto occorre disegnare controllando che la superficie interna ed esterna sia orientata nel verso corretto onde evitare di ritrovarsi, ad esempio, con un cappotto interno anziché esterno.

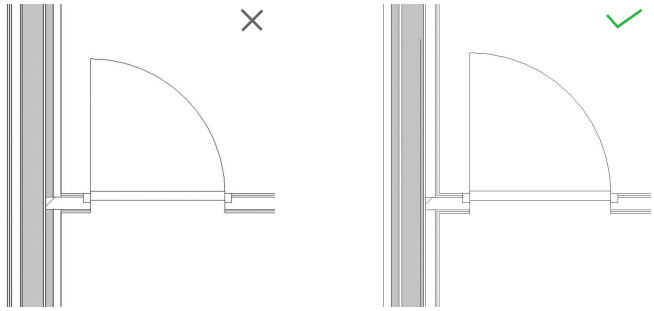


Figura 20: Differenza tra muro inserito erroneamente e correttamente (cappotto rivolto verso l'esterno)

Per quanto riguarda i componenti finestrati, di essi vanno inseriti solamente i dati dimensionali. Nelle proprietà della finestra, in Revit 2018 è possibile scorgere una scheda denominata "proprietà analitiche", all'interno della quale è possibile scegliere una serie di preset di tipologie di vetro. Tuttavia queste risultano essere poco affidabili e non è possibile modificarne stratigrafia e proprietà termofisiche. Queste informazioni verranno inserite successivamente nel software di simulazione energetica.

Una volta modellato l'edificio è possibile inserire i locali. Questa fase risulta particolarmente delicata in quanto i locali creati nel modello BIM coincideranno con le

zone termiche nel modello analitico e quindi nel software di simulazione energetica. A tal proposito, occorre come prima cosa controllare l'altezza nel browser delle proprietà del locale il quale deve aver settato come limite superiore il livello corretto. Per una maggiore sicurezza, si consiglia di eseguire un controllo in sezione verificando che l'area del locale sia impostata correttamente.

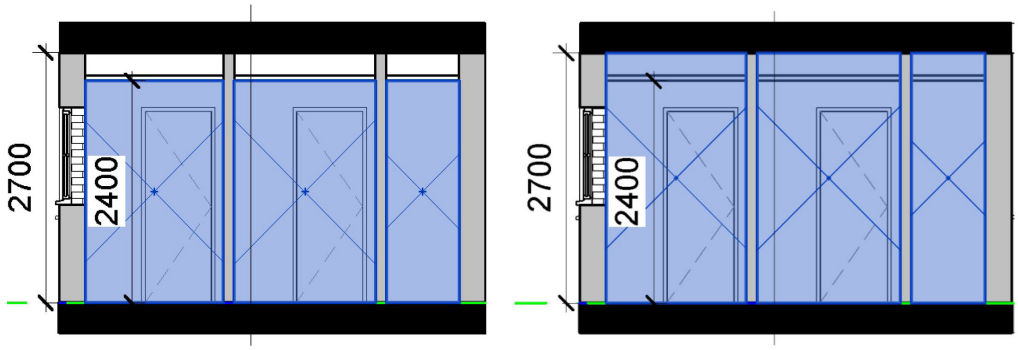


Figura 21: Corretta impostazione dell'altezza dei locali.

Un altro accorgimento da effettuare è quello di verificare se sia stato abilitato il calcolo del volume dei locali. Per far ciò, nella scheda "locale e area" all'interno del tab "architettura", è possibile aprire la relativa finestra dei settaggi cliccando su "calcolo aree e volumi" nel menu a tendina. Da questo è possibile controllare che sia spuntato il calcolo di "aree e volumi" e che il calcolo delle aree dei locali sia impostato su "alla finitura del muro".

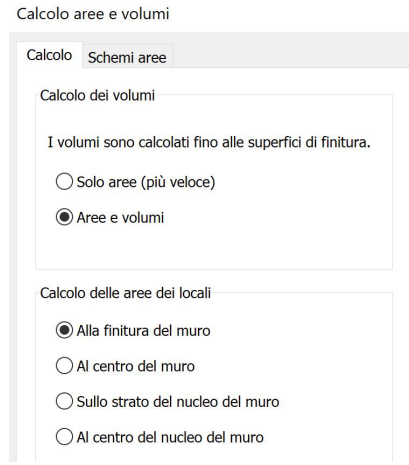


Figura 22: Finestra di dialogo per il calcolo di aree e volumi.

Il passo successivo è quello di creare le cosiddette "fasi". In Revit, solitamente queste vengono utilizzate per rappresentare periodi distinti della vita del progetto, come

ad esempio il prima e il dopo di una ristrutturazione. Nel nostro caso però, rappresenteranno le diverse soluzioni ipotizzate per l'involucro dell'edificio. In realtà per questo scopo esiste un'apposita funzionalità di Revit denominata "variante di progetto" nella scheda "gestisci". Tuttavia, vedremo successivamente che al momento della creazione del modello energetico è possibile selezionare solamente la fase del progetto e non la variante. Affinchè una fase sia creata correttamente è indispensabile sostituire i componenti che variano tra una soluzione e l'altra, effettuando prima una fase di demolizione e poi ridisegnando i muri inerenti alla fase nuova.

A questo punto è possibile procedere con la creazione del modello energetico. Dal tab "analizza" è possibile aprire la finestra di dialogo delle impostazioni energetiche situata sotto la scheda "ottimizzazione energetica". Nelle impostazioni base è importante settare:

- "Piano del terreno", impostando il livello del modello corrispondere;
- "Fase del Progetto", relativa alla soluzione progettuale che si vuole analizzare;
- "Risoluzione vano analitico" e "Risoluzione superficie analitica" i quali devono essere impostati nei loro valori minimi. Questo comporterà un tempo maggiore nella creazione del modello energetico ma allo stesso tempo apporterà una precisione maggiore.

Nelle impostazioni avanzate risulta indispensabile settare la categoria di esportazione in "Locali" e soprattutto spuntare la casella relativa agli "elementi dettagliati". Quest'ultima operazione permetterà di includere le proprietà termiche dei materiali all'interno del modello energetico. A questo punto è possibile procedere con la creazione del modello energetico il quale verrà successivamente esportato in formato gbXML.

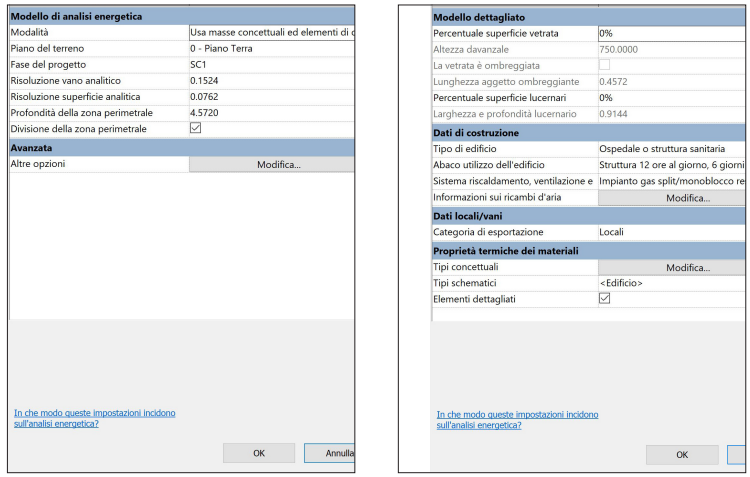


Figura 23: finestre di dialogo delle impostazioni energetiche di base ed avanzate.

_CONFRONTO SUPERFICI BIM/EAM

Il modello EAM (*Energy Analysis Model*) creato da Revit rappresenta l'insieme delle superfici analitiche generate necessarie per eseguire una simulazione energetica sullo stesso. Questo modello necessità, però, di una serie di verifiche affinché possa essere accertato che non siano presenti errori o anomalie.

A seguito della creazione del modello energetico, il software genera in automatico un abaco delle superfici analitiche nel quale è possibile identificare le relative aree e confrontarle con quelle del modello BIM. La precisione del modello EAM è influenzata dalle modalità di modellazione del modello parametrico e dalle relative impostazioni del modello energetico, come descritto detto nel paragrafo precedente. Di seguito, si riporta una tabella riassuntiva contenente il confronto tra le superfici BIM ed EAM con il relativo scostamento in termini percentuali.

ELEMENTI	BIM	EAM	SCOSTAMENTO
Finestre	38,78 m^2	39,95 m^2	3,02 %
Muri esterni	413,62 m^2	405,51 m^2	1,96 %
Facciata continua	197,16 m^2	207,75 m^2	5,37 %
Muri interni	434,45 m^2	444,46 m^2	2,30 %
Solaio controterra	226,30 m^2	208,93 m^2	7,68 %
Pavimento interno	170,81 m^2	163,65 m^2	4,19 %
Copertura	232,86 m^2	177,24 m^2	23,89 %
			6,92 %

Il primo confronto effettuato dimostra uno scostamento medio del 6,92%. Seppur non rappresenti un valore medio eccessivamente elevato, la superficie analitica della copertura risulta avere un'area troppo differente rispetto a quella del modello BIM. Occorre perciò intervenire sul modello per ridurre questo scostamento. Come prima cosa bisogna intervenire sul giunto tra parete e copertura. Il muro perimetrale non deve essere continuo fino alla copertura ma va interrotto all'altezza del sottotetto anche se questa soluzione non rispecchia la realtà costruttiva. Tuttavia, lo scostamento potrebbe risultare ancora elevato. Questo perché nell'abaco delle superfici analitiche, le parti in aggetto della copertura, non essendo parti disperdenti, vengono conteggiate sotto la voce "ombre". A seguito di queste considerazioni si riporta la tabella con i valori aggiornati.

ELEMENTI	BIM	EAM	SCOSTAMENTO
Finestre	38,78 m^2	39,95 m^2	3,02 %
Muri esterni	414,98 m^2	406,73 m^2	1,99 %
Facciata continua	197,16 m^2	207,75 m^2	5,37 %
Muri interni	434,45 m^2	444,46 m^2	2,30 %
Solaio controterra	226,30 m^2	208,93 m^2	7,68 %
Pavimento interno	170,81 m^2	163,65 m^2	4,19 %
Copertura	232,86 m^2	211,11 m^2	9,34 %
			4,84 %

Ridurre ulteriormente la differenza tra le superfici del modello BIM e quello analitico risulta molto difficoltoso e laborioso. Questo aspetto rappresenta un'altra criticità di questo processo ma diversi studi a livello internazionale sono stati avviati al fine di ridurre al minimo questo scostamento.

_IMPORTAZIONE DEL MODELLO ENERGETICO IN DESIGN BUILDER

In commercio esistono diversi software per la simulazione energetica i quali si differenziano sostanzialmente nel grado di semplificazione del modello con le sue proprietà termiche, e soprattutto nell'unità di temporale adottata per l'analisi. Quest'ultimo fatto incide in maniera particolare sulla precisione del calcolo. Considerando anche il fine per il quale si vuole eseguire una simulazione energetica, i software si possono suddividere in:

- stazionari: l'unità temporale è il periodo di riscaldamento o raffrescamento;
- semi-stazionari: i valori di temperatura e irraggiamento solare sono basati su medie mensili;
- dinamici: l'analisi energetica considera valori orari. Inoltre, ha il vantaggio di considerare meglio l'inerzia termica dell'edificio e di poter valutare l'interazione dell'accumulo di calore nei paramenti murari. Inoltre, è possibile definire profili orari di reale utilizzo di un edificio, quindi in fase di diagnosi energetica risulta essere un metodo estremamente flessibile ed accurato.

Il software di simulazione energetica utilizzato per questo progetto di tesi è Design Builder. Nato come interfaccia grafia del "motore" di simulazione EnergyPlus[7], Design Builder si colloca tra i software di tipo dinamico. Esso è in grado di modellare un edificio e di assegnare caratteristiche fisico-termiche ai singoli componenti edilizi ed impiantistici. Il software si basa su metodo di eredità gerarchica dei dati. Questo significa che i dati caricati al livello più alto "Edificio" vengono automaticamente ereditati dai livelli inferiori. Questo meccanismo permette di impostare velocemente i dati a livello globale per poi modificare i dati specifici in quei "Blocchi" o "Zone" che presentano caratteristiche differenti.

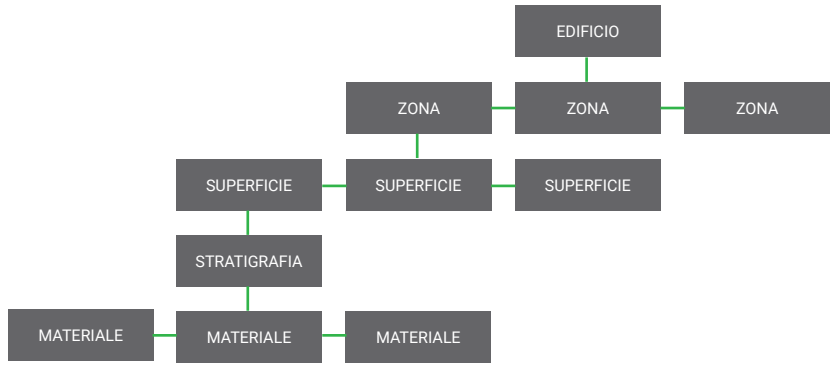


Figura 25: schema della struttura gerarchia della modellazione energetica in DesignBuilder.

7 Motore di simulazione energetica di tipo dinamico sviluppato dall' *U.S. Department of Energy*'s. Viene utilizzato nel settore EAC per il calcolo del consumo di energia del sistema edificio. Il programma è *open source* e funziona con i sistemi operativi Windows, OS X e Linus.

Il modello energetico in Design Builder è composto da blocchi. Ognuno di essi rappresenta l'involucro esterno del modello o parte di esso e comprende una serie di elementi dell'edificio. Il blocco è costituito a sua volta da zone termiche, ciascuna di esse definita dalle superfici che la delimitano. Ad ogni superficie è assegnata una stratigrafia costruita da diversi materiali caratterizzati dalle relative proprietà termiche.

Al momento dell'apertura di un nuovo progetto, il software domanda un *template* per la località, ovvero il file climatico avente l'estensione .epw[8] utilizzato per la simulazione. Il file climatico più vicino alla località del progetto è quello della stazione metereologica dell'aeroporto di Caselle Torinese. Nella versione italiana del software è già presente nel database altrimenti è possibile scaricarlo gratuitamente online.

L'analisi energetica è basata sull'inserimento di informazioni di input nelle schede dati del modello che comprendono:

- Attività: informazioni riguardanti le funzioni svolte ed i periodi di occupazione dei locali;
- Costruzione: informazioni relative alle stratigrafie delle superfici e alle loro proprietà termiche;
- Aperture: informazioni relative a materiali e stratigrafie di porte e finestre;
- Illuminazione: informazioni sulla radiazione esterna ed interna;
- HVAC (*Heating, ventilating and Air Conditioning*): informazioni relative ai sistemi di ventilazione, riscaldamento, raffrescamento e acqua calda sanitaria.

Prima di poter inserire il modello energetico generato dal software BIM, bisogna procedere con l'aggiunta di un "nuovo edificio" dal *toolbar* principale. Questo rappresenterà il primo livello della struttura gerarchica della modellazione energetica nella quale è possibile importare il file gbXML. Come visto nel secondo capitolo, non esiste purtroppo un'interoperabilità bidirezionale tra i questi due software ma il vantaggio di questa operazione consiste nel fatto che al livello "edificio" è possibile impostare dei template per l'attività, gli elementi costruttivi e gli impianti che rimarranno nel progetto qualora si volesse sostituire il file gbXML automatizzando in buona parte il processo di ricalcolo delle prestazioni energetiche a seguito di una modifica progettuale.

In relazione al caso studio, l'interoperabilità tra i software ha reso possibile il ri-

8 File contente dati climatici per località utilizzato per eseguire la simulazione energetica. Questi sono disponibili per più di 2100 luoghi in più di 100 paesi.

conoscimento automatico di tutte le zone termiche impostate nel modello BIM come "locali" una volta eseguita l'importazione del file gbXML all'interno di Design Builder. Affinché le proprietà dei materiali vengano riconosciute, è indispensabile spuntare l'opzione "importazione proprietà termiche" nella finestra di dialogo dell'importazione del modello energetico (il programma riconoscerà solo gli strati a cui sono stati assegnate le relative proprietà termiche in Revit).

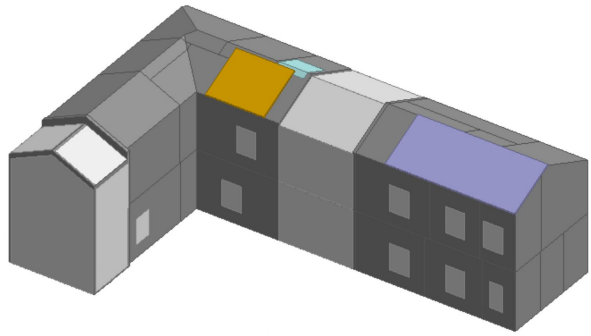


Figura 26: vista assonometrica del modello importato in Design Builder

Al termine dell'importazione comparirà in automatico un report contenente le zone importate ed eventuali errori. Tuttavia, è necessario apporre alcune modifiche al modello importato. Le superfici create nel modello BIM non vengono considerate automaticamente ma devono essere riassegnate al modello energetico importato. Per fare ciò è necessario modificare il *template* della costruzione. In questo caso studio è stato creato un nuovo *template* al quale sono stati riassegnati i vari componenti importati. Purtroppo una delle criticità di questa operazione consiste nel fatto che le superfici importate non riportano lo stesso nome con il quale sono state create in Revit. Tuttavia questo problema è facilmente risolvibile in quanto le varie stratigrafie importate sono facilmente riconoscibili, controllando la loro costruzione e quindi riassegnandogli il nome corretto.

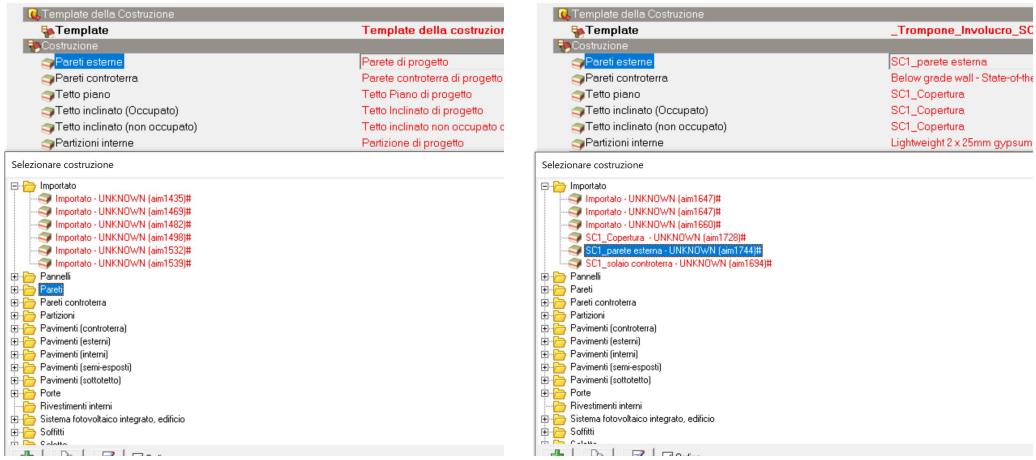


Figura 27: a sinistra, template della costruzione a seguito dell'importazione del modello energetico. A destra, template della costruzione corretto con le stratigrafie rinominate e riassegnate ai vari componenti.

Un'ulteriore modifica da effettuare riguarda l'impostazione dei valori delle resistenze liminari interne ed esterne che il software utilizza per eseguire il calcolo della trasmittanza. La norma UNI EN ISO 6946:2008, "Componenti ed elementi per edilizia - Resistenza termica e trasmittanza termica - Metodo di calcolo", riporta i valori dei coefficienti di scambio termico a seconda della direzione del flusso e del tipo di ambiente (esterno, interno e zona non riscaldata). La stessa normativa specifica inoltre come eseguire il calcolo della trasmittanza delle pareti ventilate. In questo caso si procede con il calcolo della trasmittanza escludendo dalla stratigrafia la camera di ventilazione e i successivi componenti verso l'esterno e si imposterà un valore di scambio termico superficiale uguale a quello interno.

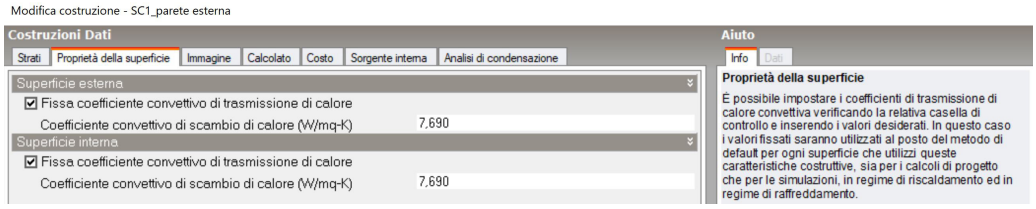


Figura 28: scheda per la modifica dei coefficienti liminari nella finestra di dialogo per la modifica della parete esterna ventilata.

Altra accortezza di cui tener conto è la specifica delle superfici adiabatiche. Esse rappresentano tutte le superfici che non subiscono lo scambio di calore con l'esterno, come ad esempio i muri confinanti con altre zone servite da impianto di riscaldamento. Questa caratteristica va impostata a livello della singola superfici. Ciò significa che il modello verrà sostituito occorrerà impostare nuovamente le superfici adiabatiche.

Figura 29: Impostazione della superficie adiabatica nella scheda "costruzione" a livello di superficie.

Il settaggio delle aperture funziona in maniera analoga a quello dei componenti opachi. Le stratigrafie, però, andranno impostate direttamente in Design Builder il quale è fornito di default di un ricco database di componenti vetrati e telai oltre alla possibilità di poterne creare di nuovi impostando le caratteristiche termiche dei materiali. Per questo caso studio sono stati creati due *template* diversi in base agli standard di riferimento adottati: allegato energetico Regione Piemonte e Passivhaus.

_IMPOSTAZIONI DEL MODELLO ENERGETICO

Trattandosi di un centro diurno per malati di Alzheimer, viene ipotizza che la struttura venga utilizzata cinque giorni alla settimana e che il periodo di occupazione giornaliero sia dalle ore 07:00 alle ore 20:00 senza ricovero notturno. Tuttavia, trattandosi di una simulazione energetica di tipo dinamico, di seguito si elencano i criteri con il quale è stato specificato l'utilizzo della struttura andando a definire il template "attività" all'interno di Design Builder.

Le impostazioni del modello energetico sono basate sulla serie UNI/TS 11300 il quale specifica tra le sue finalità quella di "valutare il rispetto di regolamenti espressi in termini di obiettivi energetici" e di "confrontare la prestazione energetica di varie alternative progettuali per un edificio in Progetto". Questi obiettivi possono essere raggiunti attraverso diverse tipi di valutazione energetica di calcolo a seconda dello scopo di applicazione della norma. In questo caso si tratta di una valutazione "di progetto" (*Design Rating*) avente lo scopo di effettuare una verifica da parte del progettista che le caratteristiche dell'edificio siano conformi ai requisiti prescritti dalla legge e che rispondano ai requisiti richiesti dalla committenza.

Per quanto concerne il controllo ambientale, la normativa assume un valore di temperatura interna costante in base alle categorie di destinazione d'uso specificate nell'art. 3 del DPR 412/93. L'edificio preso in esame corrisponde alla categoria E.3, "Edifici adibiti a ospedali, cliniche o case di cura e assimilabili", e quindi avrà 20°C come valore per la climatizzazione invernale, 26°C per quella estiva e 50% per l'umidità relativa. La durata della stagione di riscaldamento è normata in base alla zona climatica. Il comune di Moncrivello (2 723 GG) è sito in zona "E"; questo significa che la stagione di riscaldamento è compresa nel periodo tra il 15 ottobre e il 15 di aprile.

Per il calcolo della portata di ventilazione richiesta, la UNI/TS 11300 rimanda ad altre normative al fine di fine di effettuare un calcolo più dettagliato adatto all'utenza. Nello specifico, trattandosi di ventilazione meccanica controllata, la UNI EN 15251:2008 indica un il tasso di ventilazione di progetto determinato in base a due contributi: la ventilazione richiesta dagli occupanti (bioeffluenti) q_p e ventilazione richiesta dagli inquinanti del sistema impiantistico e dei componenti costruttivi q_b. In base alla categoria di edificio si assumono i seguenti valori: 10 l/s/persona come q_p, 0,5 l/s/m^2 come q_b, specifico per "*very low pollution building*". Le infiltrazioni attraverso l'involucro sono invece specificate dalla norma in base alla permeabilità dell'involucro. Presumendo sia un edificio a bassa permeabilità all'aria si assume un tasso di 0,1 h^{-1}.

L'apporto interno delle apparecchiature è determinato sulla base della categoria di edificio. Per le case di cura e attività cliniche, l'apporto termico delle apparecchia-

ture durante il periodo di funzionamento è pari a 8 W/m^2 con un fattore di simultaneità dello 0,5. Ciò significa che l'apporto termico medio è pari a 4 W/m^2. Trattandosi di una simulazione energetica dinamica è opportuno impostare un profilo orario di funzionamento delle apparecchiature durante la giornata il quale presenti valori specifici ad ogni ora della giornata ma che la media rispetti le indicazioni della norma. Di seguito si riporta il profilo di funzionamento adottato.

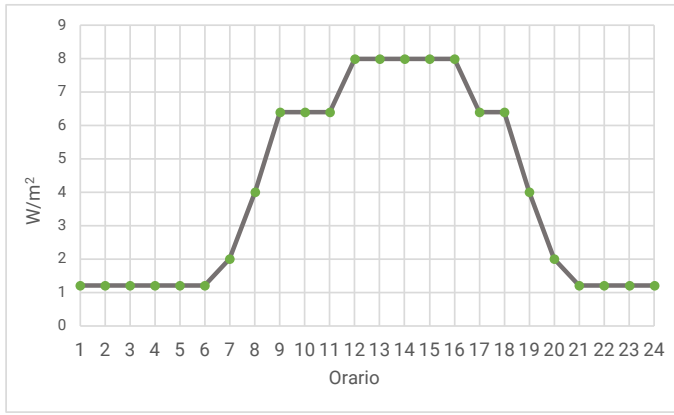


Figura 30: Profilo orario degli apporti termici delle apparecchiature interne.

Il tasso di occupazione è indicato nella normativa in base alla classe di densità di occupazione per edifici non residenziali. Si ricava così una superficie utile di pavimento per persona di 14 m^2 con un fattore di simultaneità dello 0,42. Per quanto riguarda il loro apporti, si assume un tasso metabolico di 0,925 met, valore medio tra adulti di entrambi i sessi ed escludendo che la struttura venga occupata da bambini. Considerando che l'utenza della struttura sia composta da persone adulte e anziane che svolgono principalmente attività sedentarie, si assume 120 W/persona come apporto medio. In maniera analoga a quello descritto nel paragrafo precedente, viene adottato il seguente profilo occupazionale della struttura per i giorni di funzionamento.

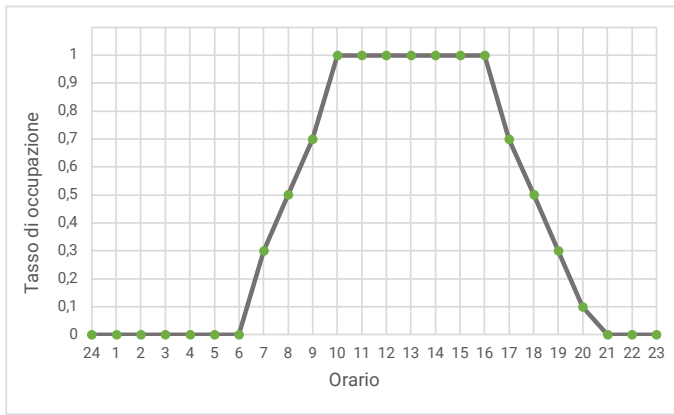


Figura 31: Profilo orario di occupazione della struttura.

Il fabbisogno di acqua calda sanitaria viene ricavato dalla parte seconda della UNI/TS 11300. Questo si è dimostrato un punto critico del caso studio a causa della sua destinazione d'uso. Per gli edifici sanitari la norma riporta un valore l/giorno ricavato da un valore fisso moltiplicato il numero di posti letto. Essendo un centro diurno per malati di Alzheimer, l'edificio preso in analisi non prevede pernottamento. Per rimediare a questa situazione si è deciso considerare il fabbisogno di ACS simile a quello di un edificio adibito ad uso uffici. Il tasso di consumo di acqua calda sanitaria risulterà quindi pari a 0,2 l/m^2 giorno.

Di seguito si riporta la tabella riepilogativa dei valori sopracitati ed utilizzati per l'impostazione del template attività con le relative fonti.

Parametro	Unità di misura	Valore	Fonte
Tasso di occupazione	mq/persona	14	UNI TS 11300:1 - capitolo 13.1.2 - prospetto 16
Apporto medio occupanti	W/m^2	3	UNI TS 11300:1 - capitolo 13.1.2 - prospetto 16
Tasso di consumo ACS	l/mq giorno	0,2	UNI TS 11300:2 - capitolo 7.1.3 - prospetto 31
SetPoint riscaldamento	°C	20	UNI TS 11300:1 - capitolo 8.1.1
SetPoint raffrescamento	°C	26	UNI TS 11300:1 - capitolo 8.1.2
SetPoint umidificazione	%	50	UNI TS 11300:1 - capitolo 8.1.1-2
Stagione di riscaldamento	data	dal 15 sett al 15 apr	UNI TS 11300:1 - capitolo 10 - prospetto 6
Aria minima di rinnovo (VMC)	l/s mq	0,5	UNI EN 15251:2008
Ventilazione richiesta (VMC)	l/s persona	10	UNI EN 15251:2008
Apporti interni	W/m^2	8	UNI TS 11300:1 - capitolo 13.1.2 - prospetto 17
Infiltrazioni	h^{-1}	0,1	UNI TS 11300:1 - capitolo 12.3.2 - prospetto 9

Le tecnologie BIM integrano strumenti a supporto della modellazione impiantistica, meglio nota come MEP (*mechanical, electrical, plumbing*). All'interno del modello BIM è possibile quindi modellare nel dettaglio tutti gli elementi che costituiscono il sistema impiantistico dell'edificio con le relative informazioni e parametri dei singoli componenti. Tuttavia, il modello energetico generato dal software BIM in questione non considera questi aspetti e quindi il file gbXML sarà privo delle informazioni impiantistiche. Occorre quindi impostare il sistema impiantistico direttamente nel software di simulazione energetica.

In ottica di *Cost Opitmal Analysis*, sono state proposte ed analizzate due diverse soluzioni impiantistiche. La loro scelta è stata influenzata dalle caratteristiche di utilizzo della struttura e basata su sistemi ad alta efficienza. Data la complessità dell'insieme della combinazione di impianti, il loro inserimento è avvenuto tramite la modalità "HVAC[9] dettagliato".

_soluzione impiantistica 1

La prima soluzione presenta un circuito ad acqua calda, per riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria, servito da una caldaia a condensazione. Rispetto a quelle tradizionali, questi sistemi sono in gradi di sfruttare parte del calore altrimenti disperso, grazie al recupero del calore latente di condensazione del vapore acqueo e dei fumi di scarico andando così a migliore l'efficienza energetica ed a ridurre le emissioni.

Il dimensionamento della caldaia è avvenuto in base al fabbisogno energetico per il riscaldamento. È stato quindi impostato un valore di potenza nominale in W diverso per tutte quelle soluzioni involucro/impianto che prevedessero la presenza di una caldaia. L'efficienza termica nominale è pari al 95%.

Il raffrescamento avviene invece tramite un circuito ad acqua servito da un chiller con un valore di COP[10] di 3,5. Il gruppo frigorifero in esame prevede un condensatore raffreddato ad aria e un compressore di tipo ermetico. Le temperature di funzionamento vengono impostate secondo i valori di default suggeriti dal software.

9 Acronimo di "*Heating, Ventilating and Air Conditioning*".

10 Acronimo inglese di "*coefficient of performance*". Indica la bontà del funzionamento di una pompa di calore espressa come quantità di calore immesso, in caso di riscaldamento, o asportato, in caso di raffrescamento, rispetto al lavoro impiegato.

_soluzione impiantistica 2

La seconda soluzione impiantistica, invece, prevede l'installazione di una pompa di calore ad acqua di falda, in funzione sia per il riscaldamento che per il raffrescamento. La presenza di una falda acquifera nei pressi del complesso è accertata anche dal fatto che vi sono dei pozzi di captazione dell'acqua utilizzati in passato. La pompa di calore si compone quindi di uno scambiatore di tipo verticale. Il software fornisce una tabella nella quale è possibile incrociare i dati relativi al carico riscaldamento e raffrescamento per definire il numero di sonde necessarie per ogni combinazione involucro/impianto che prevedere la pompa di calore. Il COP è stato impostato su 4,5 mentre l'EER[11] su 5,5.

Per quanto riguarda i terminali, entrambe le soluzioni si servono di ventilconvettori per il riscaldamento e il raffreddamento delle zone. Inizialmente era stata prevista l'ipotesi di servire l'edificio di pavimentazione radiante ma, considerando che la struttura abbia un'occupazione concentrata in un determinato orario giornaliero e che buona parte della superficie di pavimento possa essere occupata da arredi e attrezzatture speciali, la scelta è ricaduta sui fan coil. La portata d'aria è impostata su 300 m^3/h mentre la potenza e il numero dei terminali varia in base al fabbisogno delle singole zone. Il posizionamento del ventilatore, avente un'efficienza pari al 90%, è posto tra le batterie di riscaldamento della pompa di calore e la batteria di riscaldamento supplementare. La frazione del consumo energetico on-cycle utilizzato per regolare quella relativa all'off-cycle è impostata su un valore di 0.01 mentre il tempo della batteria di raffreddamento di raggiungere lo stato stazionario dopo l'avvio è impostato su 60 secondi (valori tipici suggeriti dalla guida online di Design Builder).

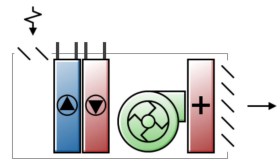


Figura 32: schema funzionamento fan coil.

Tutte le ipotesi progettuali prevedono inoltre la presenza di ventilazione meccanica controllata. Questi sistemi sono in grado di garantire quindi un'alta qualità del comfort interno tramite il ricambio automatico dell'aria. Seppur questo sistema rappresenti un aumento dei consumi elettrici, dal punto di vista energetico è in grado di diminuire le dispersioni per ventilazione grazie anche alla presenza di un recuperatore di calore in grado di sfruttare il calore dell'aria espulsa per riscaldare

11 Acronimo di "*energy efficiency ratio*" ovvero l'indice di efficienza energetica della pompa di calore in regime di raffrescamento.

quella in ingresso. Per questo caso studio si prevede un recuperatore di calore con un'efficacia del 70% e una batteria di riscaldamento collegata all'impianto di generazione e posta dopo il ventilatore in maniera tale che l'aria in ingresso possa essere in parte riscaldata e non generare discomfort termico all'interno degli ambienti. Il rendimento dei ventilatori è pari al 90%.

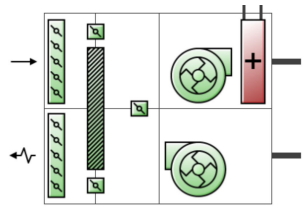


Figura 33: schema funzionamento VMC Con batteria di post-riscaldamento e recuperatore di calore.

La produzione di energia da fonti rinnovabili ha rappresentato la quarta variabile per la definizione dei pacchetti progettuali da sottoporre all'analisi di Cost Optimal. Le tipologie considerate sono i sistemi solari termici e fotovoltaici. In particolare, si è deciso di rispettare quelli che sono i limiti minimi previsti per la loro installazione.

Per quanto riguarda il solare termico, la normativa di riferimento è la D.G.R. n. 46-11968 del 4/08/2009 modificato dalla D.G.R. 29-3386 del 30/05/2016. Essa prevede che gli edifici di nuova costruzione siano forniti di un impianto solare termico dimensionato in maniera tale da soddisfare il 60% del fabbisogno annuale di energia primaria per la produzione di acqua calda sanitaria. I pannelli impiegati presentano un'area 1,16 m^2, un coefficiente di rendimento 1 pari a 0,6 W/m^2K e un coefficiente di rendimento 2 pari a 0,001 W/m^2K^2. I pannelli vengono installati sulla copertura con un'inclinazione di 25° di orientati con Azimut a 165° (Sud-Est). Tramite l'ausilio del software, per soddisfare il 60% del fabbisogno di acqua calda sanitari sono necessari 10 pannelli solari termici. Questo dimensionamento vale per entrambe le soluzioni di impianti per le energie rinnovabili.

La differenza tra i due sistemi consiste invece nel dimensionamento dell'impianto fotovoltaico. Inizialmente si è considerato il minimo di legge da installare, ricavabile dal Decreto Legislativo 28-2011 aggiornato dal D.L. 244-2016. Al comma 3 viene specificata la potenza elettrica minima da installare per gli impianti alimentati da fonti rinnovabili tramite la formula:

$$P = (1/K) \cdot S$$

- **P**= potenza di picco da installare [kW_p]
- **K**= coefficiente pari a 50 m^2/kW
- **S**= superficie in pianta dell'edificio [m^2]

Grazie a questa formula è possibile ricavare la potenza di picco minima da installare pari a 4,52 kW_p raggiunta attraverso l'istallazione 16 pannelli formati da celle monocristalline per una potenza di 290 W_p ciascuno su un'area di 1,64 m^2 (1m • 1,64m). LA potenza di picco totale è quindi 4,64 kW_p e rendimento del 20%. L'efficienza dell'inverter risulta pari al 90%. La posizione dei pannelli fotovoltaici e il loro orientamento sono i medesimi dei pannelli solari termici prima citati.

Partendo da questi presupposti è stata sviluppata la seconda soluzione di impianto per le energie rinnovabili. Dati gli elevati carichi elettrici di entrambe le soluzioni impiantistiche, si è optato per proporre un'alternativa nella quale il dimensionamento dei moduli solari termici resti invariato mentre venga incrementato quello relativo al fotovoltaico sino a coprire l'intera falda Sud-Est ed aggiungendo moduli anche sulla falda esposta ad Est. Si possono inserire così 31 pannelli per un totale di 9 kW_p.

_soluzione fonti rinnovabili 1

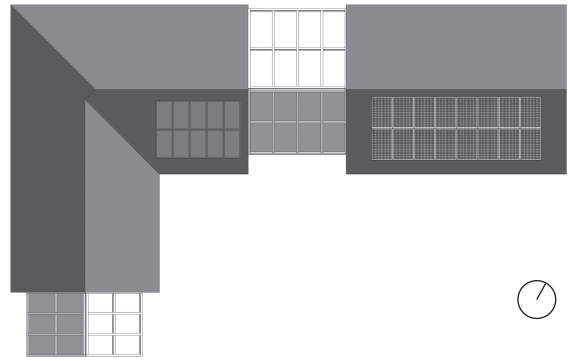


Figura 34: Vista planimetrica della copertura con installati 4,64 kW_p + impianto solare termico per la copertura del 60% del fabbisogno di ACS.

_soluzione fonti rinnovabili 2

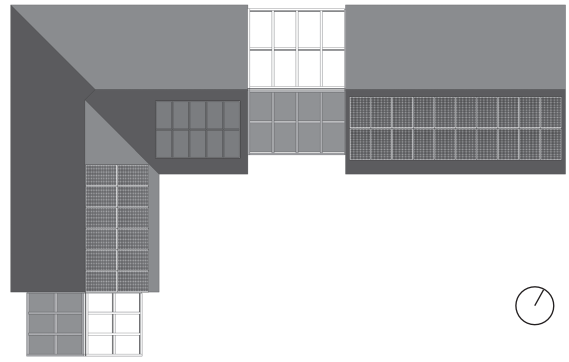


Figura 35: Vista planimetrica della copertura con installati 9 kW_p + impianto solare termico per la copertura del 60% del fabbisogno di ACS.

_ DEFINIZIONE DEI PACCHETTI PROGETTUALI

A questo punto è possibile delineare i pacchetti progettuali, sulla base di tutte le diverse soluzioni progettuali degli ambiti analizzati finora: involucro opaco, involucro trasparente, impianti e fonti rinnovabili. Combinandoli tra loro è stato possibile creare sedici diverse soluzioni i quali saranno prima sottoposti all'analisi energetica per poi calcolarne il *Cost Optimal* in maniera tale da individuare le soluzioni migliori sotto il profilo energetico-economico. Gli stessi pacchetti saranno analizzati dal punto di vista economico nel prossimo capitolo al fine di individuare il costo globale di ognuno.

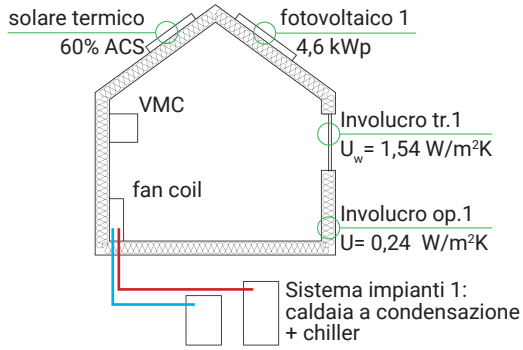
Lo scopo della creazione di queste combinazioni è quella di valutare l'effetto che la singola soluzione tecnologica o impiantistica ha sull'intero sistema. I pacchetti, infatti, variano tra loro solo per una componente alla volta; tramite comparazioni sarà poi possibile individuare gli effetti derivanti dall'adottarne una piuttosto che l'altra. L'obiettivo finale è quello di individuare quali sono gli ambiti su cui puntare per ottimizzare i costi.

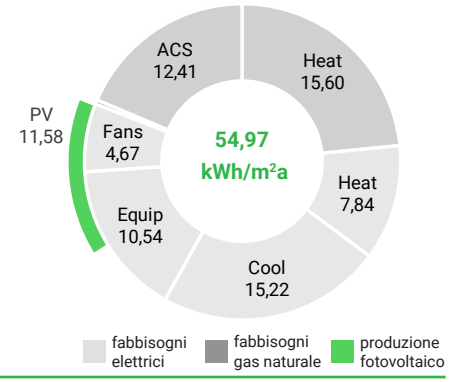
2 soluzioni l'involucro opaco:	2 soluzioni involucro trasparente:	2 soluzioni impianti:	2 soluzioni risorse rinnovabili
1. Livello 2 allegato energetico Regione Piemonte; 2. Standard Passivhaus.	1. Livello 2 allegato energetico Regione Piemonte; 2. Standard Passivhaus.	1. Caldaia a condesasione + chiller; 2. Pompa di calore acqua di falda.	1. 60% copertura ACS da solare termico + 4,6 kWp forovoltaico 2. 60% copertura ACS da solare termico + 9 kWp forovoltaico.

TOT. 16 pacchetti

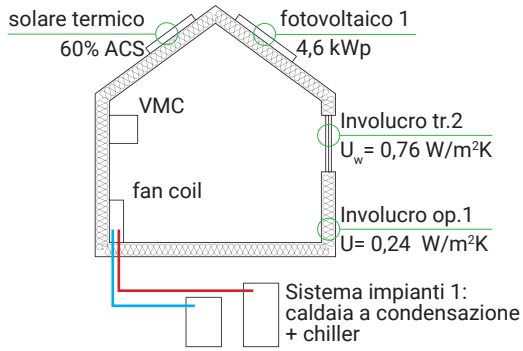
Di seguito si riporta una tabella riassuntiva dei vari pacchetti progettuali. Per facilitarne la comprensione, viene proposto uno schema per ogni pacchetto contente le soluzioni tecnologiche adottate e i relativi risultati riguardanti il fabbisogno energetico.

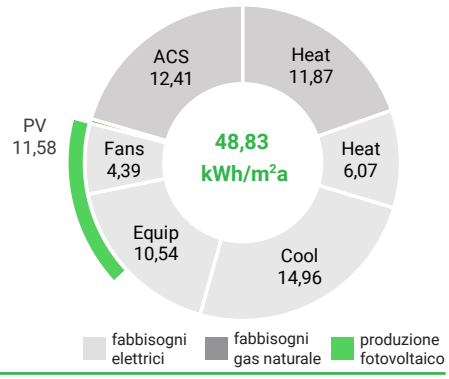
_soluzione 1



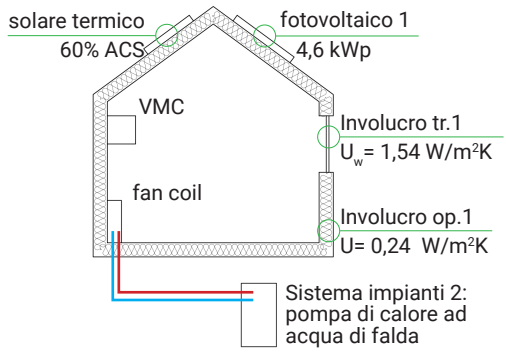


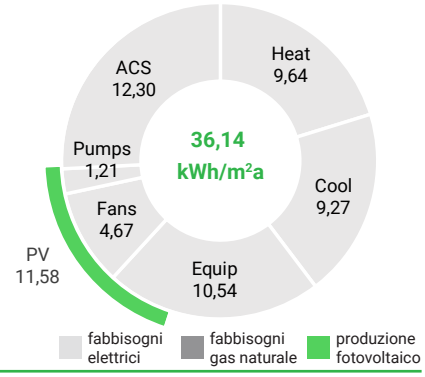
_soluzione 2



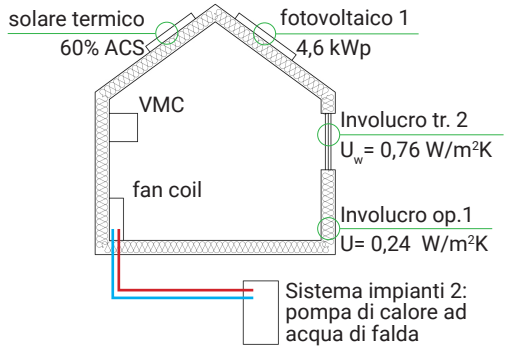


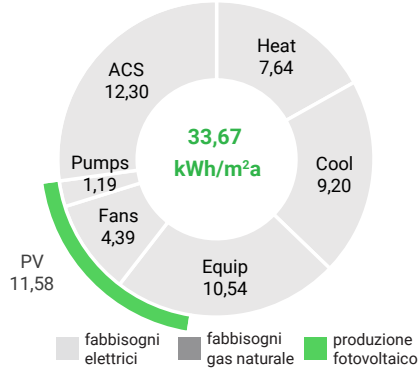
_soluzione 3



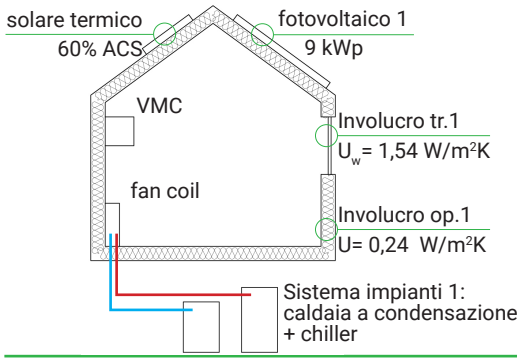


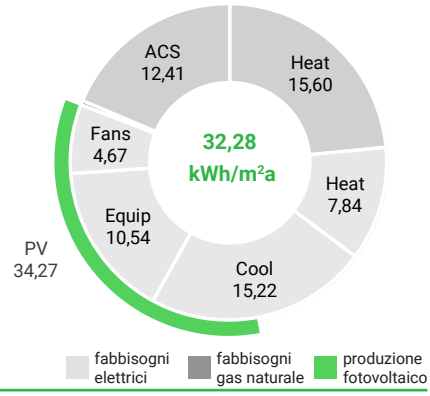
_soluzione 4



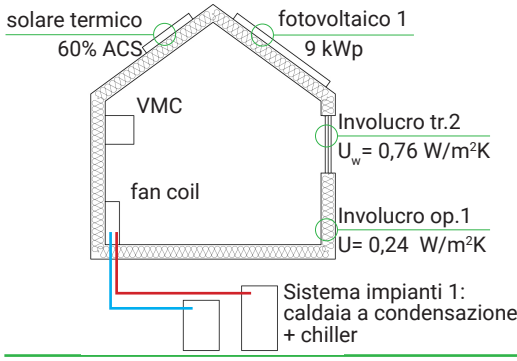


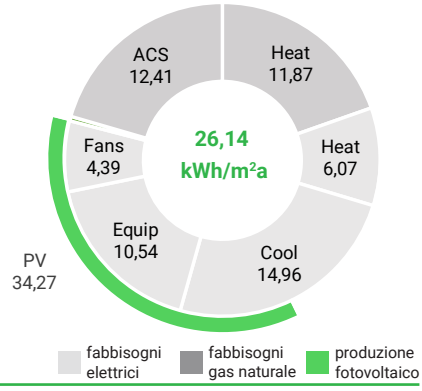
_soluzione 5



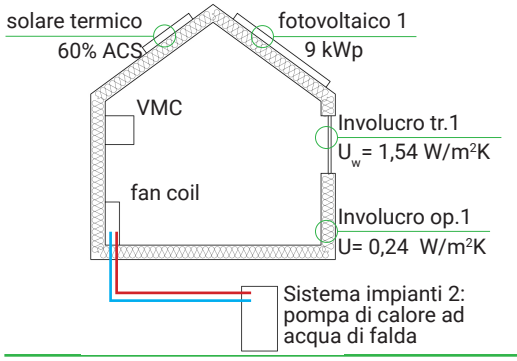


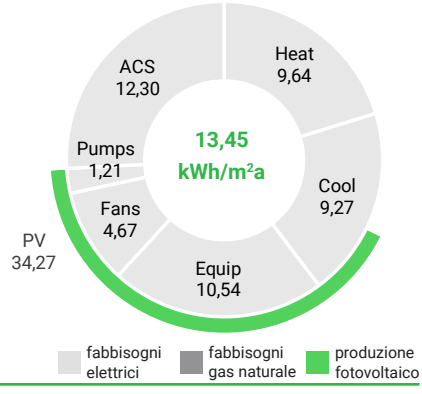
_soluzione 6



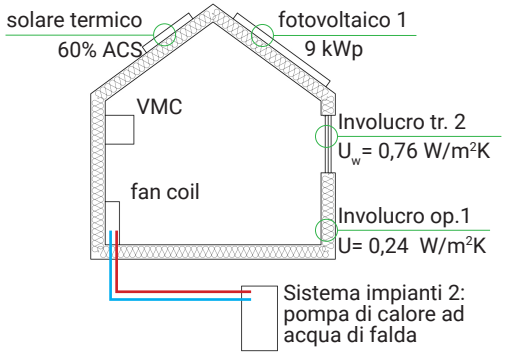


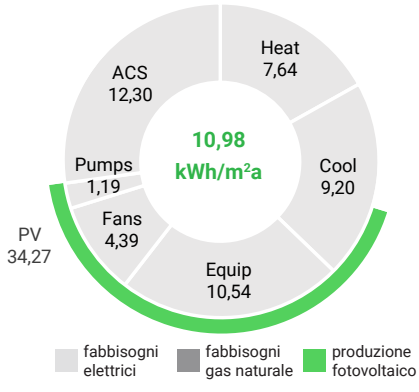
_soluzione 7



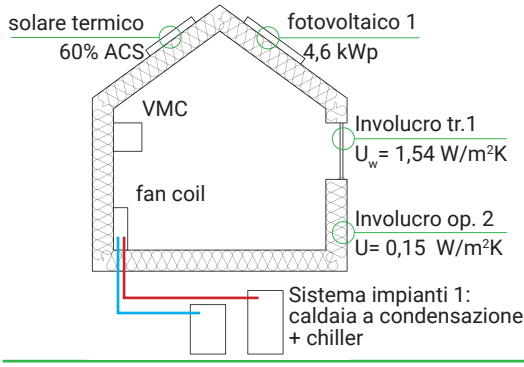


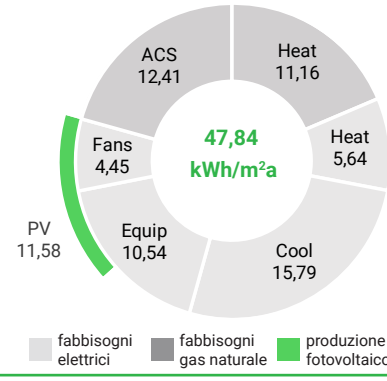
_soluzione 8



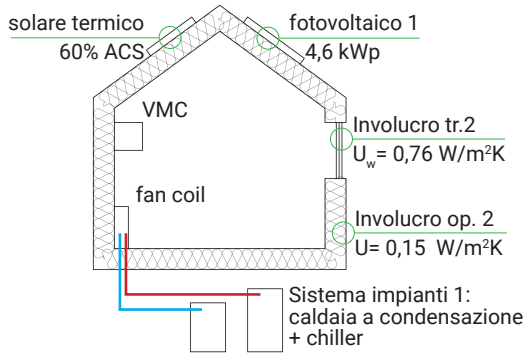


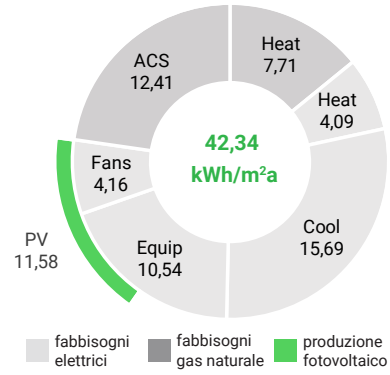
_soluzione 9



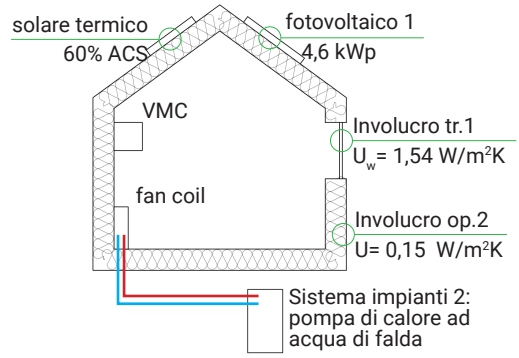


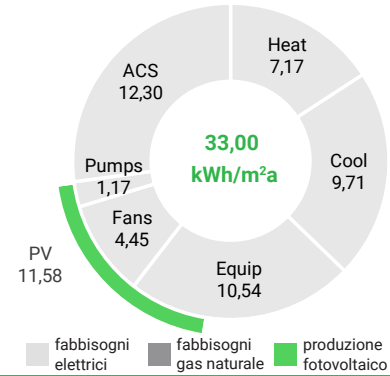
_soluzione 10



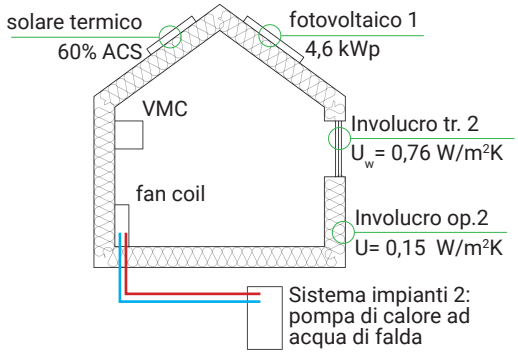


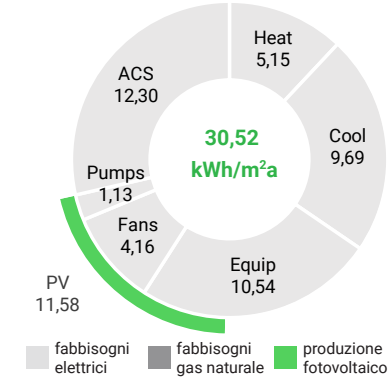
_soluzione 11



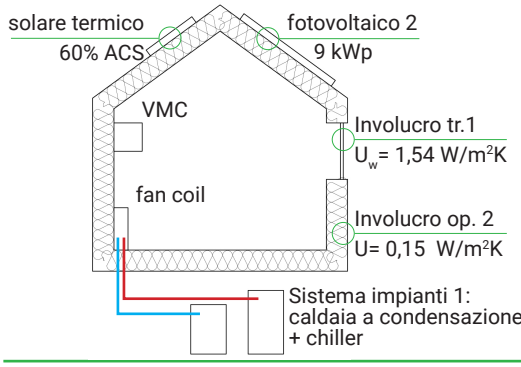


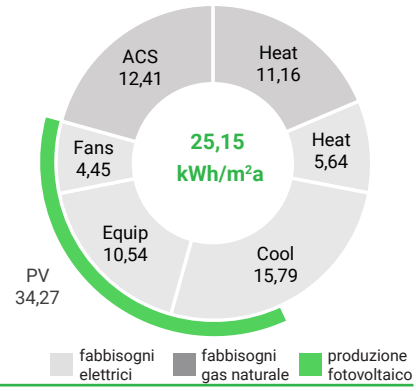
_soluzione 12



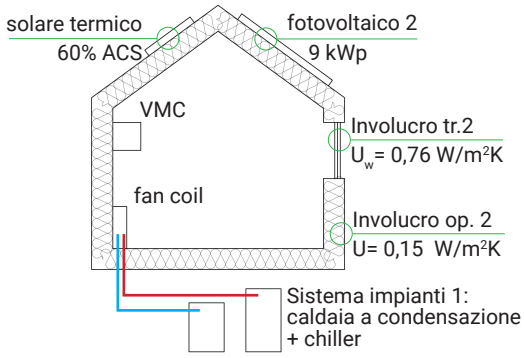


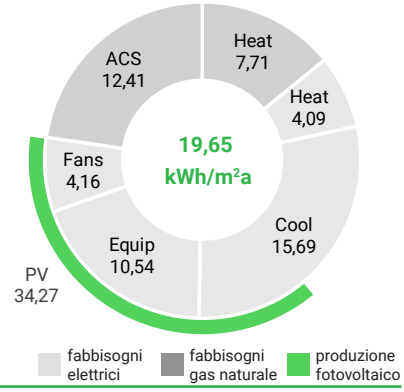
_soluzione 13



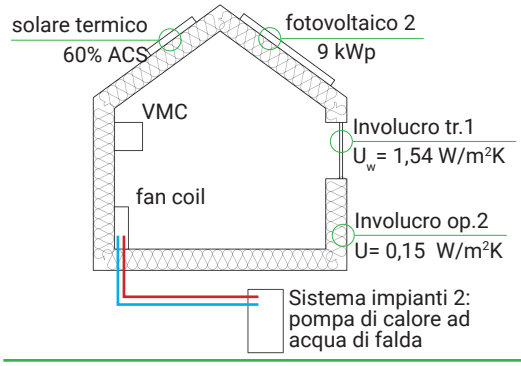


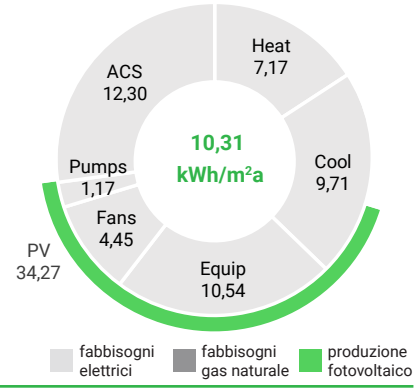
_soluzione 14



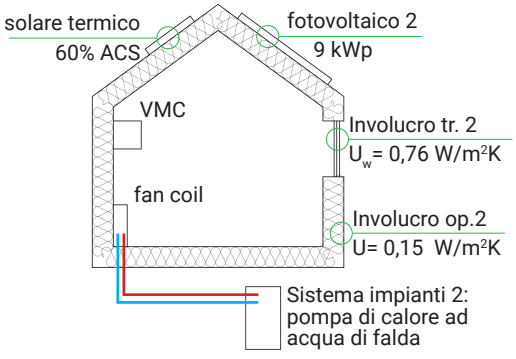


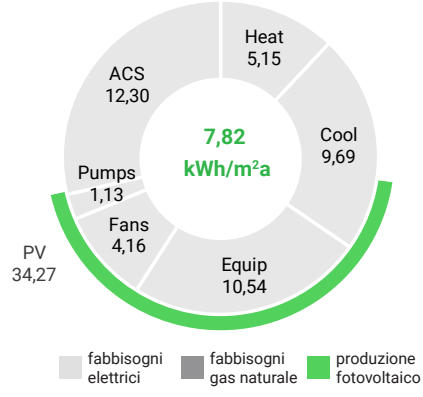
_soluzione 15



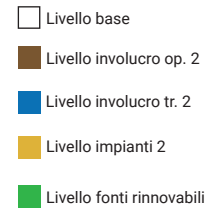


_soluzione 16





Soluzione	EP_{gl} [kWh/m²anno]
1	54,97
2	48,83
9	47,84
10	42,34
3	36,14
4	33,67
11	33,00
5	32,28
12	30,52
6	26,14
13	25,15
14	19,65
7	13,45
8	10,98
15	10,31
16	7,82



Il grafico mostra i vari pacchetti di soluzioni involucro/impianti classificati in base al loro EP_{gl}[12]. Tramite i riquadri colorati è possibile individuare quale livello di soluzione è stato adottato per quel pacchetto in maniera tale da avere un riscontro diretto su quali soluzioni tecnologiche influenzino maggiormente il risultato finale della prestazione energetica.

I primi cinque "pacchetti" più performanti risultano essere quelli in qui è presente l'impianto fotovoltaico più potente. Questo perchè, analizzando i risultati delle simulazioni energetiche, è possibile constatare che generalmente i consumi principali sono dovuti ai fabbisogni elettrici. In primo luogo, questo fattore è dovuto al tipo di attrezzature previste per l'edificio, su tutte la ventilazione meccanica controllata. Inoltre, le ampie vetrate, seppur siano schermate esternamente, in regime estivo soffrono dell'irradiazione solare ed aumentano quindi i carichi termici interni.

Il secondo fattore ad influire maggiormente sulla prestazione energetica è la tipologia di impianto inserita. Analizzando il grafico sopra inserito, è possibile constatare che i primi quattro pacchetti con l'indice di prestazione energetica più basso sono dotati di pompa di calore ad acqua di falda.

12 Indice di prestazione energetica globale per la climatizzazione invernale ed estiva, produzione di acqua calda sanitaria, ventilazione, apparecchiature e illuminazione.

Infine, la scelta dell'involucro influisce l'EP_{gl} in maniera meno rilevante rispetto agli alle altre componenti dei pacchetti. Più nello specifico, la scelta di involucro opaco ha un peso maggiore anche se non in maniera particolarmente considerevole.

Un minor indice di prestazione energetica significa ovviamente un costo di esercizio annuo inferiore. Tuttavia, questi pacchetti presentato costi inziali e di gestione molto differenti tra loro. Il capitolo successivo si occuperà di valutare questi pacchetti dal punto di vista economico lungo il loro ciclo di vita.

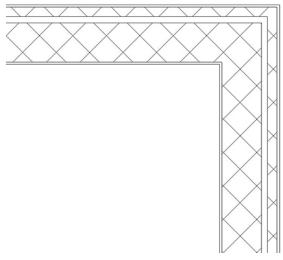
5 Calcolo del Global Cost

In questo capitolo verrà affrontato il calcolo della differenza in termini di costo globale che intercorre tra i pacchetti che sono stati sottoposti in precedenza all'analisi energetica. L'obiettivo è quello di valutare gli effetti economici all'aumentare della performance energetica del progetto. La componente del costo svolge perciò un ruolo fondamentale in quanto rappresenta un elemento equilibrante agendo come criterio di scelta tra soluzioni alternative.

Al fine di effettuare il calcolo dei costi iniziali, per ogni pacchetto progettuale è necessario ricavare informazioni circa gli elementi impiegati. A tal proposito, l'utilizzo del BIM facilita notevolmente il processo di individuazione dei parametri necessari.

Attraverso il software Autodesk Revit 2018, è possibile estrapolare le quantità dei materiali impiegati. Questo aspetto rappresenta una grande potenzialità perché il computo delle quantità eseguito sul modello può dimostrarsi accurato ma soprattutto sempre aggiornato a seguito di modifiche del progetto. D'altro canto, però, al fine di ottenere dei risultati il più possibile vicini a quelli reali, è necessario porre attenzione su alcuni aspetti.

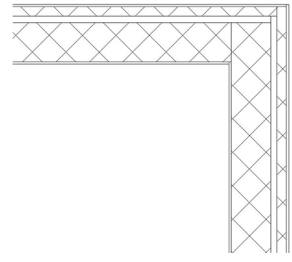
Innanzitutto è necessario comprendere come il software BIM effettui il computo del materiale inserito. Di default, Revit computa il materiale in base all'area del componente inserito. Affinché venga misurato nella reale posizione in cui è inserito il materiale, è necessario selezionare i componenti e cliccare sul comando "gestisci stratigrafia" presente nel gruppo "crea". A questo punto sarà possibile visualizzare la stratigrafia dell'elemento e il computo dei materiali risulterà specifico per ogni componente. Per comprendere meglio questo passaggio, si riporta un esempio di computo dei materiali del muro confrontando l'abaco quantità prima e dopo la creazione della stratigrafia.



<Computo dei materiali muro>

A	B	C
Materiale: Nome	Materiale: Area	Materiale: Volume
Intonaco - Beige	90.5 m²	1.4 m³
Intonaco - Bianco	90.5 m²	1.4 m³
Isolamento	90.5 m²	3.6 m³
Laterizio (4)	90.5 m²	22.6 m³
Laterizio (5)	90.5 m²	5.4 m³

Figura 36: esempio di computo dei materiali senza aver creato la stratigrafia.



<Abaco delle parti>

A	B	C
Materiale	Area	Spessore
Intonaco - Beige	95.05 m²	0.02
Intonaco - Bianco	85.99 m²	0.02
Isolamento	92.88 m²	0.04
Laterizio (4)	89.28 m²	0.25
Laterizio (5)	94.12 m²	0.06

Figura 37: esempio di computo dei materiali a seguito della creazione della stratigrafia.

Nella prima immagine, i materiali sono tutti computati con la stessa area perché il software esegue un unico calcolo in base alla superficie di inserimento dell'elemento muro. La seconda immagine mostra invece un calcolo più preciso nella quale ogni singolo materiale è computato nella posizione effettiva nella stratigrafia. Il piano di riferimento per il calcolo dell'area del materiale è posto nella mezzeria dello spessore dello strato.

A questo punto è possibile proseguire con l'esportazione dei dati del modello BIM all'interno di Microsoft Access. Si tratta di uno dei software più famosi per la gestione dei database di tipo relazionare nella quale i dati sono legati tra logo da relazioni di dipendenza. Ciò consente di raggruppare i dati creando tabelle nella quale vengono ordinati e catalogati in base alle informazioni che vogliamo ricavare dal database.

L'importazione del database del modello BIM da Revit a Microsoft Access è possibile grazie al modulo aggiuntivo "Revit DB Link". Si tratta di un plug-in sviluppato sempre da Autodesk già presente nell'ultima versione di Revit o comunque scaricabile tramite l'App Desktop Autodesk[1]. DB link consente un'interoperabilità di tipo bidirezionale. Questo consente di esportare database che possono essere aperti e modificati da programmi terzi per poi essere importati nuovamente all'interno di Revit. Quest'ultima funzionalità è però legata solamente alla modifica dei parametri del tipo condivisi[2] altrimenti al momento dell'importazione del database in Revit si riscontreranno degli errori.

La compatibilità tra Revit ed Access presenta alcune problematiche relative alle impostazioni del prodotto Microsoft al momento dell'installazione. Il sito della Autodesk consiglia di:

- se si utilizza un sistema operativo a 64 bit e si desidera esportare in un database di Excel o Access, è necessario disporre di Microsoft Office 2010 x64 per avere accesso ai driver del database. In alternativa, è possibile scaricare il driver di Access. Il driver non è disponibile se Access 2007 x86 è installato su un computer a 64 bit;
- verificare quale aggiornamento di MS Access risulta compatibile con la versione di Autodesk Revit Installata attraverso una specifica tabella riportata sul sito stesso.

1 App manager ufficiale della *software house* Autodesk. Da questo programma è possibile scaricare nuove versione o aggiornare i prodotti Autodesk compresi i suoi *plug-in*.

2 Parametri utilizzabili e caricabili in più famiglie e progetti differenti. La definizione di questi viene memorizzata in maniera differente rispetto agli altri parametri del progetto.

Prima di esportare il modello occorre creare un database vuoto in Microsoft Access. È consigliabile salvare il file vuoto in una versione precedente in maniera tale da evitare eventuali conflitti dovuti ad aggiornamenti delle ultime versioni. A questo punto dalla scheda "moduli aggiuntivi" di Revit è possibile cliccare sull'icona di DB Link per aprire la finestra di dialogo relativa all'esportazione o importazione del database di progetto. Una volta selezionato il file di Access creato in precedenza è possibile esportare il database. Al fine di un corretto funzionamento occorre che durante l'utilizzo di un programma l'altro non sia in esecuzione.

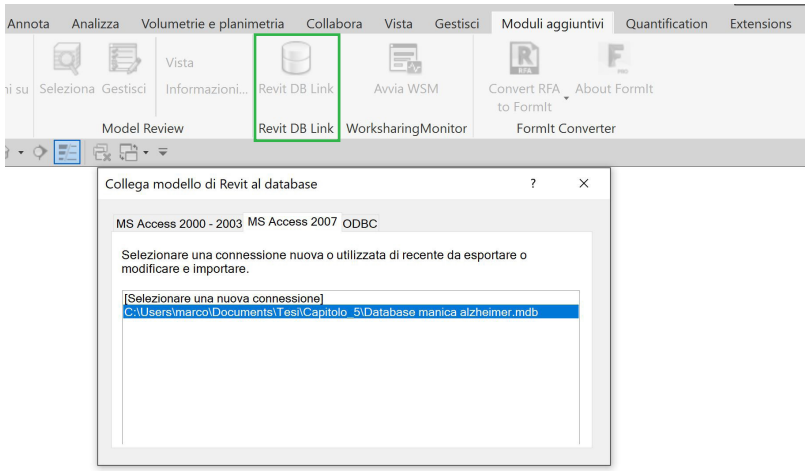


Figura 38: stralcio della finestra di dialogo per l'esportazione del database di progetto con il plug-in Revit DB Link.

All'apertura del database in MS Access è possibile notare come siano state create in automatico delle tabelle le quali racchiudono all'interno i dati di progetto. Per questo caso studio, è utile osservare le tabelle denominate "Materials", la quale contiene tutte le infomazioni dei materiali utilizzati nel progetto, e "*MaterialQuantities*", contenete area e volume dei materiali.

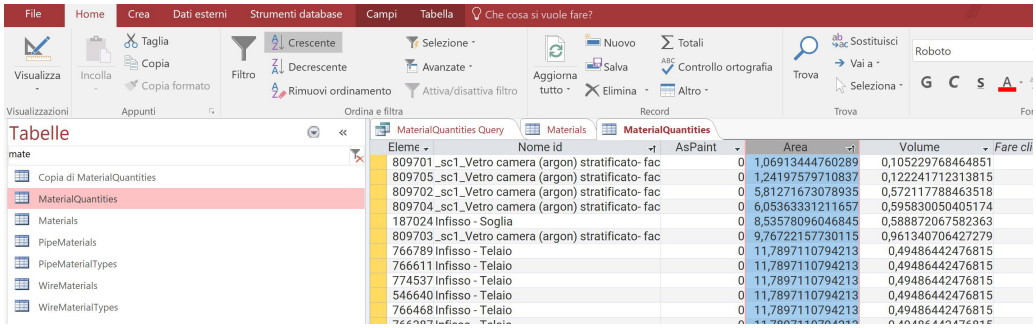


Figura 39: Tabella "Materials Quantities" presente in MS Acces una volta esportato il database di progetto.

A questo punto è necessario creare una *query*[3] di unione tra le due tabelle. Si tratta quindi di "interrogare" le tabelle per estrapolare i dati necessari, tralasciando i campi che non sono funzionali al nostro scopo. La struttura della *query* si basa sull'ID del materiale e i campi estrapolati sono: nome, descrizione, area e volume. Una volta creata la *query* è possibile modificarne la struttura in maniera tale che i campi con lo stesso nome siano raggruppati e per ognuno sia calcolato il totale di area e volume. Per far sì che la *query* si aggiorni automaticamente ad ogni modifica del database è necessario creare una macro[4] di aggiornamento.

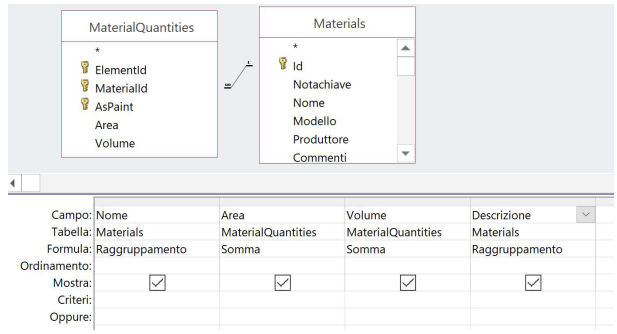


Figura 40: Struttura query di unione tabelle.

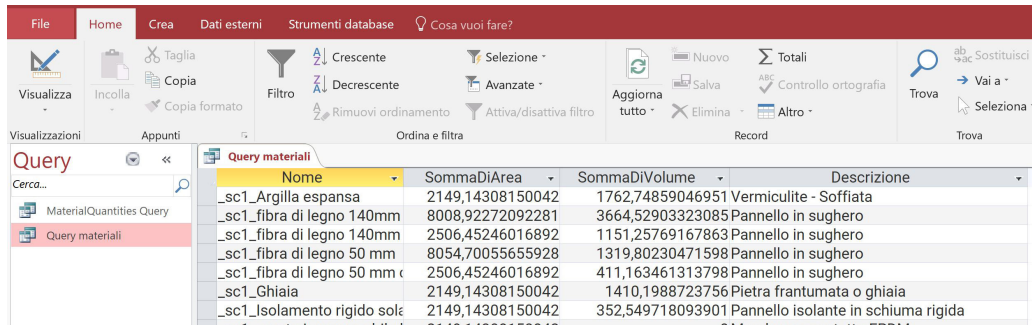


Figura 41: Query creata per raggruppare informazione e quantità dei materiali.

Il passo successivo è quello di collegare la *query* creata con un foglio di Microsoft Excel nella quale verrà eseguito il calcolo del *Global Cost*. Nella scheda dati di Excel è possibile collegare un database Access tramite "Recupera dati" presente nella scheda "Dati". Una volta selezionato il database dal quale si vogliono importare i dati, si aprirà una finestra di dialogo nel quale è possibile selezionare le *query* che si vogliono importare. Tramite il comando "Aggiorna" è possibile aggiornare i dati se sono stati modificati in MS Access.

3 Strumento mediante il quale è possibile interrogare un database di MS Acces. Permette quindi di recuperare specifiche informazioni tra i tanti dati archiviati nel database.

4 Una macro è un set di una o più azioni, ciascuna delle quali esegue una determinata operazione. Le macro consentono di automatizzare le attività comuni.

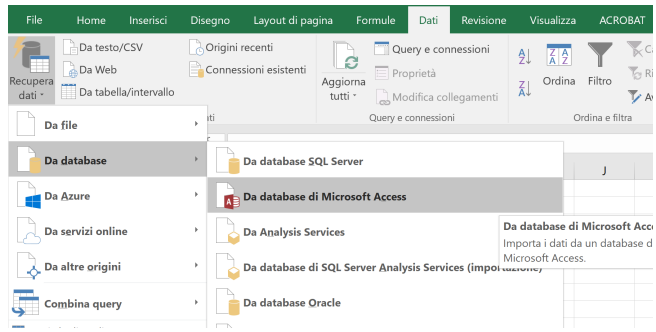


Figura 42: importazione del database MS Access in Excel.

Figura 43: stralcio finestra di dialogo per l'importazione di query e tabelle in un file di excel.

Seppur questo processo si possa rivelare articolato, in realtà non presenta complicazioni particolari nella sua esecuzione. Tuttavia, vi è una criticità significativa riguardo a come Revit computi i materiali della stratigrafia del muro. La superficie, infatti, è calcolata come la somma di tutte le aree delle "facce" del solido di cui è composto il materiale nel modello. L'area risulterà perciò molto più elevata rispetto alla realtà. Per ovviare a questo problema è possibile ricavare i dati direttamente dall'abaco dei materiali in Revit oppure utilizzare il plug-in *"Roombook Extension"* presente di default in Revit 2018. Quest'ultima soluzione permette di creare fogli di calcolo Excel contenenti i computi dei materiali desiderati. Entrambe le soluzioni, però, non garantiscono un'interoperabilità automatizzata e quindi non risultano coerenti con la metodologia adottata in questa tesi.

_COSTI DI INVESTIMENTO INIZIALI

La prima componente di costo da valutare è quella relativa ai costi iniziali per realizzare in opera i pacchetti progettuali. Questi, come le altre voci di costo, sono in gran parte relativi a elementi edilizi specifici. L'orientamento numero 115/01, la normativa di riferimento analizzata nel secondo capitolo, indica che *"Il calcolo dei costi globali deve avvenire disaggregando in modo sufficiente gli edifici in elementi distinti, in modo che le differenze di misure/pacchetti/varianti trovino riflesso nel risultato del calcolo dei costi globali"*.

Il regolamento prevede l'adozione del cosiddetto "metodo del costo pieno" per le nuove costruzioni o per le ristrutturazioni complete. Ciò significa che la valutazione è di tipo dettagliato e deve considerare ogni singolo componente dell'edificio. Tuttavia, la stessa norma specifica che il fine dell'esercizio è la valutazione e la comparazione di diversi pacchetti di soluzioni e non la valutazione dei costi totali per gli investitori e gli utilizzatori degli edifici. Per questo motivo, il documento specifica che le seguenti voci di costo possono essere omesse dal calcolo:

- costi relativi agli elementi edilizi che non hanno alcuna influenza sulla prestazione energetica di un edificio (ad esempio il costo dei rivestimenti dei pavimenti o dell'imbiancatura delle pareti);
- i costi degli elementi che rimangono invariati per tutti i pacchetti analizzati anche se questi influiscono sulle prestazioni energetiche dell'edificio.

Il regolamento specifica inoltre che non è consentito l'utilizzo del "metodo del costo aggiuntivo"[5] in quanto le caratteristiche dell'edificio standard hanno un impatto notevole sui risultati della valutazione dei livelli ottimali in funzione dei costi. Le componenti dell'involucro ed impiantistiche non devono essere quindi desunte da altri edifici di riferimento ma devono essere specificati in dettaglio in quanto andranno a caratterizzare i vari pacchetti progettuali.

La raccolta dei dati dev'essere basata su analisi di mercato in maniera tale che siano coerenti dal punto di vista dei luoghi e tempi dei costi. Possono quindi essere desunti dalle seguenti fonti:

- valutazione di progetti di costruzioni recenti;
- analisi delle offerte standard delle imprese di costruzione;
- uso delle banche dati sui costi esistenti che sono state alimentate con dati basati sul mercato.

5 Metodo di valutazione a partire da un edificio standard integrando interventi aggiuntivi (ad esempio migliore isolamento termico, impianti più performanti, ecc…). Il confronto tra i costi si basa sull'analisi dei costi di investimento aggiuntivi e sulle differenze nei costi di gestione.

Per questo progetto di tesi, le voci di costo sono desunte dal Prezziario della Regione Piemonte 2016[6] per effettuare una stima di tipo analitico. Sono stati considerate le voci sulla base delle indicazioni fornite dal regolamento riguardo i costi che è possibile omettere e senza quindi effettuare una valutazione basata sul "metodo del costo pieno". L'obiettivo della stima è stato sin da subito identificato nell'individuazione di un delta costo dei diversi pacchetti progettuali per identificare quello più performante dal punto di vista economico-energetico.

Il criterio di scelta delle voci di costo da considerare si è rivelato un punto critico all'interno di questa metodologia. La questione principale è legata al fatto che per la tipologia di analisi è necessario considerare i componenti nel dettaglio, esaminando le stratigrafie che compongono l'involucro e i singoli elementi che formano il sistema impiantistico. L'obiettivo della tesi è però quello di favorire la progettazione integrata e il controllo della prestazione energetica ed economica sin dalle fasi iniziali della progettazione. Ci si è ritrovati così ad analizzare il progetto a livello preliminare cercando, però, di specificare e dettagliare il più possibile gli elementi da cui è composto. La potenzialità di questo approccio risiede nella possibilità di poter implementare automaticamente le voci di costo a pari passo con lo sviluppo del livello di dettaglio del progetto.

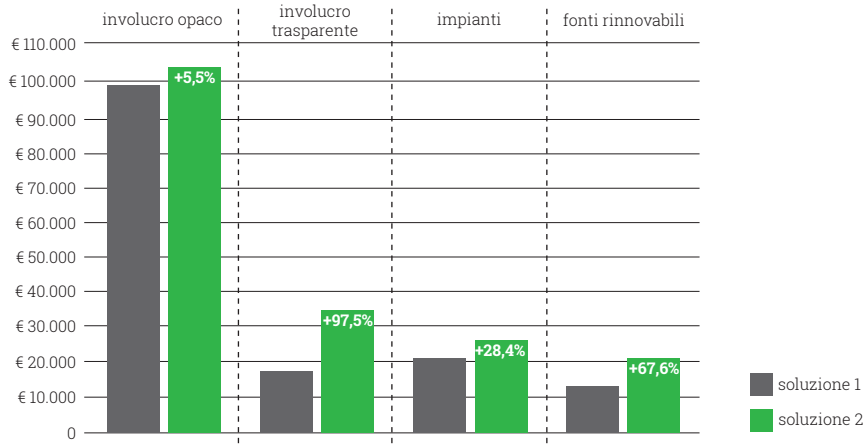
È stato così creato un elenco prezzi unitari. In questo capitolo è stato riportato in forma sintetica ma è visionabile per intero all'interno degli allegati. Sono state specificate le voci costo per ogni pacchetto progettuale, sia per quanto riguarda l'involucro sia per le componenti impiantistiche, considerando anche il costo della posa in opera per tutte le voci in cui non fosse già incluso nel costo dell'elemento stesso. Viene ribadito ancora una volta che i risultati ottenuti non rappresentato il costo iniziale per realizzare l'opera ma hanno lo scopo di evidenziare la differenza di costo tra le diverse soluzioni progettuali.

6 Servizio promosso dalla Regione Piemonte in collaborazione con il Ministero delle Infrastrutture con l'intento di fornire uno strumento di riferimento e di indirizzo per gli operatori pubblici e privati del settore aggiornando periodicamente i "Prezzi di riferimento per opere e lavori pubblici della Regione Piemonte".

Soluzione	Descrizione	Costo di investimento iniziale
Involucro opaco 1 Standard Regione Piemonte	Isolamento parete perimetrale ventilata tramite posa di isolante in spessore della struttura di 10 cm più realizzazione cappotto esterno da 5 cm in lana di roccia (U= 0,24 W/m^{2}K).	**€ 69.971,59**
	Isolamento copertura tramite posa di isolante in spessore di trave di 12 cm più cappotto esterno di 5 cm (U= 0,22 W/m^{2}K).	**€ 3.822,34**
	Solaio controterra isolato con 25 cm di argilla espansa a contatto con il terreno più 5 cm di isolante ad alta densità (U= 0,23 W/m^{2}K).	**€ 2.4529,72**
	TOT. Costo Involucro opaco 1	**€ 98.323,65**
Involucro opaco 2 Standard Passivhaus	Isolamento parete perimetrale ventilata tramite posa di isolante in spessore della struttura di 14 cm più realizzazione cappotto esterno da 10 cm in lana di roccia (U= 0,15 W/m^{2}K).	**€ 71.843,31**
	Isolamento copertura tramite posa di isolante in spessore di trave di 20 cm più cappotto esterno di 5 cm (U= 0,15 W/m^{2}K).	**€ 5.461,56**
	Solaio controterra isolato con 25 cm di argilla espansa a contatto con il terreno più 10 cm di isolante ad alta densità (U= 0,18 W/m^{2}K).	**€ 26.387,14**
	TOT. Costo Involucro opaco 2	**€ 103.692,00**
Involucro trasparente 1 Standard Regione Piemonte	Vetrate isolanti tipo vetrocamera con basso emissivo formata da due lastre di vetro da 4 mm con interposta un'intercapedine riempita con gas argon di 15 mm.	**€ 3.092,62**
	Vetrate isolanti tipo vetrocamera con basso emissivo formata da una lastra di vetro stratificata 3+3 mm e una da 4 mm con interposta un'intercapedine riempita con gas argon di 15 mm.	**€ 14.256,87**
	TOT. Costo Involucro trasparente 1	**€ 17.349,49**
Involucro trasparente 2 Standard Passivhaus	Vetrate isolanti tipo vetrocamera con basso emissivo formata da tre lastre di vetro da 4 mm con interposte due intercapedini riempita con gas kripton di 12 mm ciascuna.	**€ 8.240,25**
	Vetrate isolanti tipo vetrocamera con basso emissivo formata da una lastra di vetro stratificata 3+3 mm e due da 4 mm con interposte due intercapedini riempita con gas kripton di 12 mm ciascuna.	**€ 26.018,13**
	TOT. Costo Involucro trasparente 2	**€ 34.258,38**

Soluzione	Descrizione	Costo di investimento iniziale
Sistema impianti 1	Caldaia murale a condensazione per riscaldamento con potenza al focolare fino a 34,9 kW.	**€ 2.075,56**
	Gruppo refrigeratore d'acqua monoblocco con condensatori raffreddati ad aria	**€ 6.454,27**
	Ventilcovettori (potenze da 2,5 kW a 4 kW)	**€ 4.548,30**
	Ventilazione meccanica controllata con sistema di recupero di calore.	**€ 7.188,68**
	TOT. Costo Sistema Impianti 1	**€ 20.266,81**
Sistema Impianti 2	Pompa di calore monoblocco acqua-acqua, funzionamento con acqua di falda.	**€ 14.283,81**
	Ventilcovettori (potenze da 2,5 kW a 4 kW)	**€ 4.548,30**
	Ventilazione meccanica controllata con sistema di recupero di calore.	**€ 7.188,68**
	TOT. Costo Sistema Impianti 2	**€ 26.020,79**
Fonti Rinnovabili 1	Sistema fotovoltaico composto da moduli fotovoltaici in silicio cristallino (4,6 kWp)	**€ 8.374,09**
	Sistema a pannelli solari vetrati piani con superficie di assorbimento selettiva per la copertura del 60% del fabbisogno di ACS.	**€ 3.806,52**
	TOT. Costo Fonti Rinnovabili 1	**€ 12.180,61**
Fonti Rinnovabili 2	Sistema fotovoltaico composto da moduli fotovoltaici in silicio cristallino (9 kWp)	**€ 16.605,31**
	Sistema a pannelli solari vetrati piani con superficie di assorbimento selettiva per la copertura del 60% del fabbisogno di ACS.	**€ 3.806,52**
	TOT. Costo Fonti Rinnovabili 2	**€ 20.411,83**

Δ costi iniziali dei pacchetti progettuali



_ COSTI DI ESERCIZIO

I risultati delle simulazioni energetiche dei vari pacchetti riportano i fabbisogni di energia primaria suddivisi per fonte energetica. In base al sistema impiantistico adottato, troviamo principalmente soluzioni che necessitano di gas naturale ed elettricità. Nel caso dei pacchetti dove è stata inserita la caldaia a condensazione più chiller, il consumo sarà legato ad entrambe le fonti energetiche a differenza delle soluzioni che sfruttano la pompa di calore ad acqua di falda le quali hanno solamente consumi elettrici.

Per il calcolo dei costi di esercizio sarà quindi necessario moltiplicare questi fabbisogni per il costo totale della fornitura della relativa fonte energetica. L'ordinamento 115/01, allegato del Regolamento Delegato UE 244/2012, specifica che non debba essere considerato solo il costo della fornitura ma anche i relativi oneri e costi connessi. A tal proposito, il sito web della ARERA[7] fornisce dati e statistiche relativi ai costi dell'energia elettrica e del gas.

Per quanto riguarda il gas, il sito web fornisce una tabella aggiornata trimestralmente nella quale compaiono i relativi costi suddivisi per area geografica. Di seguito si riporta la tabella relativa alle utenze dell'ambito nord-occidentale (Valle d'Aosta, Piemonte, Liguria) nel periodo compreso tra il 1 ottobre e il 31 dicembre 2017.

Tariffe Gas - Area Nord Occidentale				
	Servizi di vendita	Servizi di rete		Totale
Quota (€/Smc)		Trasporto e gestione del contatore	Oneri di sistema	
Smc/anno: da 0 a 120	0,244833	0,048029	0,020061	0,312923
da121 a 480		0,129921	0,057661	0,432415
da 481 a 1.560		0,122983	0,041761	0,409577
da 1.561 a 5.000		0,123298	0,037361	0,405492
da 5.001 a 80.000		0,104271	0,032061	0,381165
da 80.001 a 200.000		0,076518	0,024261	0,345612
Quota Fissa (€/anno)	59,65	58,6400	-27,0100	91,2800

Il costo è composto da una quota fissa ed una variabile. La quota fissa si basa sulla classe del contatore. In questo caso si ipotizza che verrà istallato un contatore di classe G6. Per quanto riguarda invece la quota variabile, i costi si differenziano in base al fabbisogno. In questo caso, le quote da considerare sono due ed andranno associate ai diversi pacchetti in base al loro fabbisogno. Notare bene che la tabella

7 Acronimo di "Autorità di Regolazione per Energia Reti e Ambiente (https://www.autorita.energia.it).

riporta valori di euro/smc[8] mentre dalla simulazione energetica ricaviamo il fabbisogno in kWh. Si assume quindi come valore di conversione 1 smc = 9,45 kWh.

Per quanto concerne l'elettricità, il sito suddivide i costi in base alle utenze domestiche e non. Anche in questo caso il trimestre di riferimento è quello compreso tra il 1 ottobre e il 31 dicembre 2017. Il costo dell'elettricità varia in base alla potenza disponibile[9] e impegnata[10]. Nel nostro caso studio si tratta di fornire elettricità ad un'utenza con potenza disponibile superiore a 16,5 kW e potenza impegnata superiore a 1,5 kW. Viene riportata di seguito la tabella per la determinazione del costo in base alle caratteristiche della fornitura appena citate.

Tariffe Elettricità - Area Nord Occidentale				
	Servizi di vendita	Servizi di rete	Oneri di sistema	Totale
Quota energia (€/kWh)	0,082530	0,009020	0,062282	0,153832
Quota Fissa (€/anno)	114,034000	25,343400	125,343700	264,721100
Quota potenza (€/kW/anno)		30,073500		30,073500

Il costo totale dell'elettricità è composto da una quota fissa annua, da una quota potenza (in questo caso 6kW) e da una quota variabile in base al fabbisogno di energia elettrica. In quest'ultimo caso, la tabella suddivide il costo in base alle fasce orarie di richiesta di energia:

- Fascia F1: dalle 8 alle 19 nei giorni dal lunedì al venerdì, escluse le festività;
- Fascia F2: dalle 7 alle 8 e dalle 19 alle 23 nei giorni dal lunedì al venerdì e dalle 7 alle 23 del sabato, escluse le festività nazionali;
- Fascia F3: dalle 23 alle 7 nei giorni dal lunedì al sabato e tutte le ore dei giorni di domenica e festività nazionali.

Trattandosi di un centro diurno per malati di Alzheimer, per questo caso studio viene considerata la media del costo della fascia 1 e 2 escludendo la 3 in quanto copre giorni e orari nella quale il centro rimane chiuso. Anche in questo caso, la tabella fornisce i costi relativi agli oneri e spese correlate alla fornitura.

8 Standard metro cubo. Esprime la quantità di gas contenuta in un metro cubo alla temperatura di 15 C° e pressione atmosferica.

9 La potenza disponibile della corrente è la potenza massima prelevabile dall'impianto di distribuzione, superata la quale l'erogazione di energia si interrompe.

10 La potenza impegnata del contatore è il livello di potenza indicato nei contratti e reso disponibile dal fornitore. Si definisce in base alle esigenze del cliente al momento della conclusione del contratto, in funzione al tipo e al numero degli apparecchi elettrici normalmente utilizzati. Si misura in kW e si può scegliere tra i seguenti scaglioni di potenza: 1,5 kW, 3 kW, 4,5 kW, 6 kW.

Al fine di calcolare il Costo Globale delle varie soluzioni, occorre specificare il periodo di calcolo assunto per l'analisi. La normativa specifica che esso dev'essere influenzato dal "ciclo di ristrutturazione", ovvero il lasso di tempo in cui un edificio è sottoposto a una ristrutturazione completa, solitamente mai inferiore ai 20 anni. Più precisamente, l'Orientamento specifica che gli Stati Membri debbano assumere un periodo di 30 anni per gli edifici residenziali e pubblici, 20 anni per quelli commerciali. In base a queste considerazioni, per questo caso studio si assume un periodo di analisi di 30 anni. Per tutti quei componenti che hanno un ciclo di vita superiore a questa durata, verrà calcolato l'eventuale valore residuo alla fine del periodo di analisi.

Il calcolo del Costo Globale si basa sul metodo del VAN (Valore Attuale Netto)[11]. Risulta perciò necessario definire il tasso di sconto, ovvero di quel tasso d'interesse da impiegare per trasferire al tempo 0, ossia "ad oggi", un capitale finanziario esigibile ad una certa data futura. La misura di questo tasso è pari al rendimento offerto da attività finanziarie prive di rischio a lunga scadenza. Per queste ragioni, viene considerato un tasso di sonto del 3,45%, ricavato sulla base del rendimento di un Btp[12] a scadenza trenetennale. Di seguito si riporta la formula del costo globale, già illustrata nel secondo capitolo, e quella relativa al fattore di attualizzazione.

$$C_G(\tau) = C_I + \sum_j \left[\sum_{i=1}^{\tau} (C_{a,i}(j) \cdot R_d(i)) - V_{f,\tau}(j) \right]$$

$$R_d(p) = \left(\frac{1}{1 + r/100} \right)^p$$

dove:

p = numero di anni a partire dal periodo iniziale;
r = tasso di sconto reale.

11 Metodologia tramite cui si definisce il valore attuale di una serie attesa di flussi di cassa non solo sommandoli contabilmente ma attualizzandoli sulla base del tasso di rendimento.

12 Buoni del Tesoro Poliennali. Sono titoli di credito a medio-lungo termine emessi dal Tesoro con scadenza pari a 3, 5, 7,10, 15 e 30 anni. Per questo caso studio viene considerato il Btp Tf 3,45% Mz48 Eur con scadenza 01/03/2048.

costo gas metano	quota fissa gas	costo en. elettrica	quota fissa elettricità	quota potenza el.	saggio di sconto	periodo di analisi
[€/m^3]	[€/anno]	[€/kWh]	[€/anno]	[€/anno]	[%]	[annualità]
0,44	91,28	0,15	264,72	180,44	3,45	30

pacchetto soluzioni	gas naturale		energia elettrica		tot. costo di esercizio annuale	tot. costo di esercizio
	consumo gas naturale	costo annuale gas naturale	consumo netto en. elettrica	costo annuale en. elettrica		
	[m^3]	[€/anno]	[kWh]	[€/anno]	[€/anno]	[€]
1	1027,76	543,38	9354,28	1884,15	2427,52	47355,68
2	887,72	481,78	8548,87	1760,25	2242,03	43737,07
3	-	-	12534,10	2373,31	2373,31	46298,02
4	-	-	11678,55	2241,70	2241,70	43730,57
5	1027,76	543,38	1483,83	673,42	1216,80	23737,07
6	887,72	481,78	678,42	549,52	1031,30	20118,45
7	-	-	4663,65	1162,58	1162,58	22679,40
8	-	-	3808,10	1030,97	1030,97	20111,96
9	847,96	464,29	8579,57	1764,97	2229,26	43487,98
10	717,36	406,84	7906,10	1661,37	2068,21	40346,22
11	-	-	11444,92	2205,76	2205,76	43029,47
12	-	-	10584,35	2073,37	2073,37	40446,96
13	847,96	464,29	709,12	554,25	1018,53	19869,36
14	717,36	406,84	35,65	450,65	857,48	16727,61
15	-	-	3574,47	995,03	995,03	19410,85
16	-	-	2713,90	862,65	862,65	16828,34

_ COSTI DI MANUTENZIONE E SOSTITUZIONE

Un altro aspetto da considerare durante il ciclo di vita di un edificio è la manutenzione degli elementi che lo compongono. Vi è quindi una voce di costo correlata al corretto funzionamento del sistema edificio-impianti nel corso degli anni. Oltre a questo aspetto, bisogna considerare la vita utile di questi elementi in maniera tale da individuare quando sarà necessario eseguire una loro eventuale sostituzione.

L'allegato "A" del documento EN 15459:2007 denominato "Ec*onomical data for energy system*" fornisce i dati circa la vita utile degli elementi impiantistici e il loro costo annuale per la manutenzione indicata come percentuale di incidenza rispetto ai costi iniziali di investimento. I costi di manutenzione vengono quindi calcolati come percentuale del costo di investimento iniziale ma attualizzati annualmente in base al saggio di sconto, in maniera analoga a quanto detto nel paragrafo precedente sui costi di esercizio.

Se la vita utile di un componente è minore rispetto al periodo di calcolo assunto per analisi, occorre considerare il suo costo di sostituzione. L'Orientamento 115/01 dichiara inoltre che esiste la possibilità di adeguare i costi di sostituzione considerando l'innovazione della tecnologica degli impianti nel tempo rispetto a quella attuale. È quindi possibile ipotizzare costi di sostituzione diversi da quelli di investimento iniziale. Ad esempio, si potrebbe ipotizzare un costo dell'impianto fotovoltaico inferiore rispetto a quello attuale in quanto ci si aspetta che il progresso tecnologico ne riduca il prezzo. Tuttavia, data la difficoltà nel reperire tali dati di previsione e dal livello di dettaglio del progetto analizzato, si assume un costo pari a quello di investimento iniziale attualizzato al momento della sostituzione in base alla vita utile degli elementi.

I costi di sostituzione sono relativi esclusivamente agli impianti dato che la vita utile dei componenti edilizi supera il periodo di 30 anni assunto come base per il calcolo del costo globale. Di seguito di riporta la tabella con il calcolo dei costi di sostituzione e manutenzione attualizzati secondo le modalità descritte prima.

	Costi di sostituzione e manutenzione						
	Componente	Costo iniziale	Vita utile	Incidenza annuale costi di manutenzione	Costi di manutenzione annuali	Costi totali di manutenzione attualizzati	Costo di sostituzione attualizzato
s. impianti 1	Caldaia a condensazione	€ 2.075,56	20	2,00%	€ 41,51	809,79	€ 1.053,24
	Fan coil	€ 4.548,30	15	4,00%	€ 181,93	3549,09	€ 2.734,59
	vmc	€ 7.188,68	20	6,00%	€ 431,32	8414,12	€ 3.647,87
	chiller	€ 6.454,27	20	2,00%	€ 129,09	2518,17	€ 3.275,20
					Tot. soluzione impianti 1	**€ 26.002,07**	
s. impianti 2	pompa di calore	€ 14.283,81	20	3,00%	€ 428,51	8359,37	€ 7.248,27
	fan coil	€ 4.548,30	15	4,00%	€ 181,93	3549,09	€ 2.734,59
	vmc	€ 7.188,68	20	6,00%	€ 431,32	8414,12	€ 3.647,87
					Tot. soluzione impianti 2	**€ 33.953,31**	
s. rinnovabili 1	solare termico	€ 3.806,52	25	0,50%	€ 19,03	371,28	€ 1.630,29
	fotovoltaico	€ 8.374,09	25	1,00%	€ 83,74	1633,60	€ 3.586,54
					Tot. soluzione fonti rinnovabili 1	**€ 7.221,72**	
s. rinnovabili 2	solare termico	€ 3.806,52	25	0,50%	€ 19,03	371,28	€ 1.630,29
	fotovoltaico	€ 16.605,31	25	1,00%	€ 166,05	3239,33	€ 7.111,88
					Tot. soluzione fonti rinnovabili 2	**€ 12.352,79**	

_VALORE RESIDUO

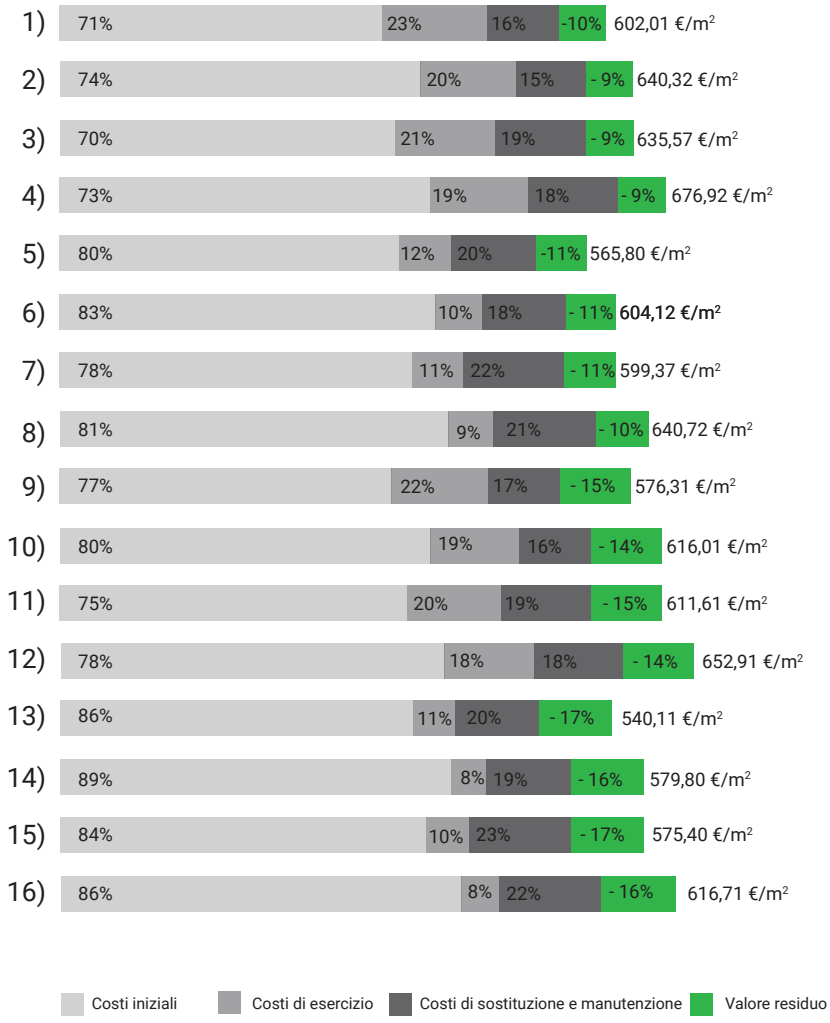
L'ultimo componente della formula del *Global Cost* è il valore residuo definito dalla norma come la somma dei valori residui di tutti gli elementi edilizi. Questi dipendono dal costo di investimento iniziale o, se è stato necessario sostituirli, dal costo di sostituzione e dal periodo di ammortamento il quale coincide con la vita utile dell'elemento.

Dividendo il costo iniziale per gli anni della vita utile di ciascun elemento è possibile ricavare l'ammortamento annuo. Moltiplicando poi questo valore per le annualità residue, ovvero il numero di anni rimanenti prima che il prodotto debba essere sostituito, è possibile ottenere il valore residuo di quell'elemento. Anche in questo caso sarà necessario procedere con l'attualizzazione di questo costo in quanto avverrà al trentunesimo anno, considerando sempre un saggio di sconto del 3,45%.

Di seguito si riporta la tabella con il calcolo del valore residuo. La vita utile dei componenti impiantistici è la stessa utilizzata per il calcolo dei costi di sostituzione e fornita da documento EN 15459:2007 - *Annex A*. La vita utile dell'involucro opaco viene considerata di 50 anni mentre quella dell'involucro trasparente coincide con quella del periodo assunto per l'analisi di 30 anni e quindi avrà un valore residuo pari a zero.

	Valore Residuo					
	Componente	Costo iniziale	Vita utile	Annualità residue	Ammortamento annuo	Valore residuo attualizzato
s. impianti 1	Caldaia a condensazione	€ 2.075,56	20	10	€ 103,78	€ 362,63
	Chiller	€ 6.454,27	20	10	€ 322,71	€ 1.127,64
	Fan coil	€ 4.548,30	15	0	€ 303,22	€ 0,00
	vmc	€ 7.188,68	20	10	€ 359,43	€ 1.255,95
						€ 2.746,22
s. impianti 2	Pompa di calore a-a	€ 14.283,81	20	10	€ 714,19	€ 2.495,56
	Fan coil	€ 4.548,30	15	0	€ 303,22	€ 0,00
	vmc	€ 7.188,68	20	10	€ 359,434	€ 1.255,95
						€ 3.751,52
s. rinnovabili 1	solare termico	€ 3.806,52	25	20	€ 152,26	€ 1.064,08
	fotovoltaico	€ 8.374,09	25	20	€ 334,96	€ 2.340,90
						€ 3.404,97
s. rinnovabili 2	solare termico	€ 3.806,52	25	20	€ 152,26	€ 1.064,08
	fotovoltaico	€ 16.605,31	25	20	€ 664,21	€ 4.641,86
						€ 5.705,93

Composizione del *global cost* dei singoli pacchetti progettuali



Quest'ultimo grafico mostra il costo globale di ogni singolo pacchetto e le incidenze in percentuale delle voci che lo compongono. Ovviamente la voce di costo che influisce in maniera più significativa è quella relativa ai costi di investimento iniziali. Tuttavia, è utile osservare non i costi che incidono maggiormente ma quelli che presentano variazioni significative tra un pacchetto e l'altro. I costi di esercizio, ad esempio, variano dall'8% al 23%; ciò significa che giocano un ruolo fondamentale nella variazione di prezzo da un pacchetto all'altro. Nel capitolo successivo verranno analizzate le varie soluzioni progettuali in ottica di *cost optimal analysis* considerando contemporaneamente costo globale e fabbisogno energetico.

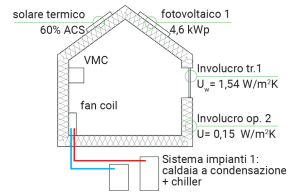
6 Cost Optimal Analysis

In questo capitolo verrà effettuata l'analisi del Costo Ottimale sulla base delle performance economiche ed energetiche delle combinazioni progettuali calcolate finora. L'obiettivo, come specificato nel secondo capitolo, è quello di individuare la miglior soluzione di efficienza energetica in funzione dei costi.

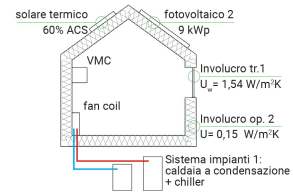
Altro passaggio fondamentale sarà l'analisi di sensibilità al fine di esaminare le conseguenze che si ottengono variando i valori di input del calcolo del Costo Globale. In questo modo è possibile identificare quali sono le voci di costo più sensibili, ovvero quelle che al loro variare hanno una maggior influenza sul calcolo complessivo.

Una volta calcolato il costo globale di tutti i "pacchetti" è possibile procedere con la *Cost Optimal Analysis*. Sulla base dei calcoli riguardo i consumi di energia primaria (capitolo 4) e costi globali (capitolo 5) è possibile elaborare un grafico per confrontare simultaneamente la performance economica ed energetica dei vari pacchetti progettuali presi in esame. Essi verranno inseriti come punti in un grafico il quale ha come ascissa l'energia primaria, espressa in kWh/m^2, e come ordinata il costo globale, espresso in €/m^2. È così possibile tracciare una curva specifica sulla quale i punti inferiori rappresentano le combinazioni di pacchetti progettuali con i costi più bassi.

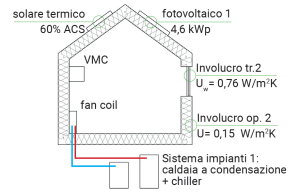
Nel caso in cui i pacchetti presentino costi molto simili, il livello ottimale in funzione dei costi si basa su quello che rappresenta il consumo inferiore di energia primaria. Di seguito si riporta il grafico del *Cost Optimal*. Per facilitare la lettura si propone una tabella riassuntiva delle soluzioni adottate per ogni pacchetto progettuale.



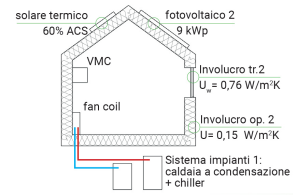
_soluzione 9
EP_{gl} = 47,84 kWh/m²a
C_G = 576,31 €/m²



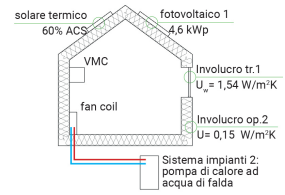
_soluzione 13
EP_{gl} = 25,15 kWh/m²a
C_G = 540,11 €/m²



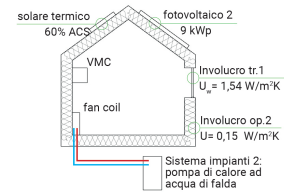
_soluzione 10
EP_{gl} = 42,34 kWh/m²a
C_G = 616,01 €/m²



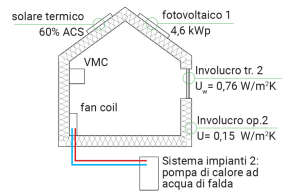
_soluzione 14
EP_{gl} = 19,65 kWh/m²a
C_G = 579,80 €/m²



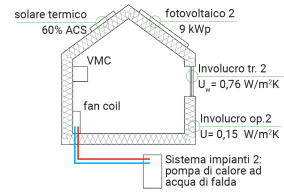
_soluzione 11
EP_{gl} = 33,00 kWh/m²a
C_G = 611,61 €/m²



_soluzione 15
EP_{gl} = 10,31 kWh/m²a
C_G = 575,40 €/m²

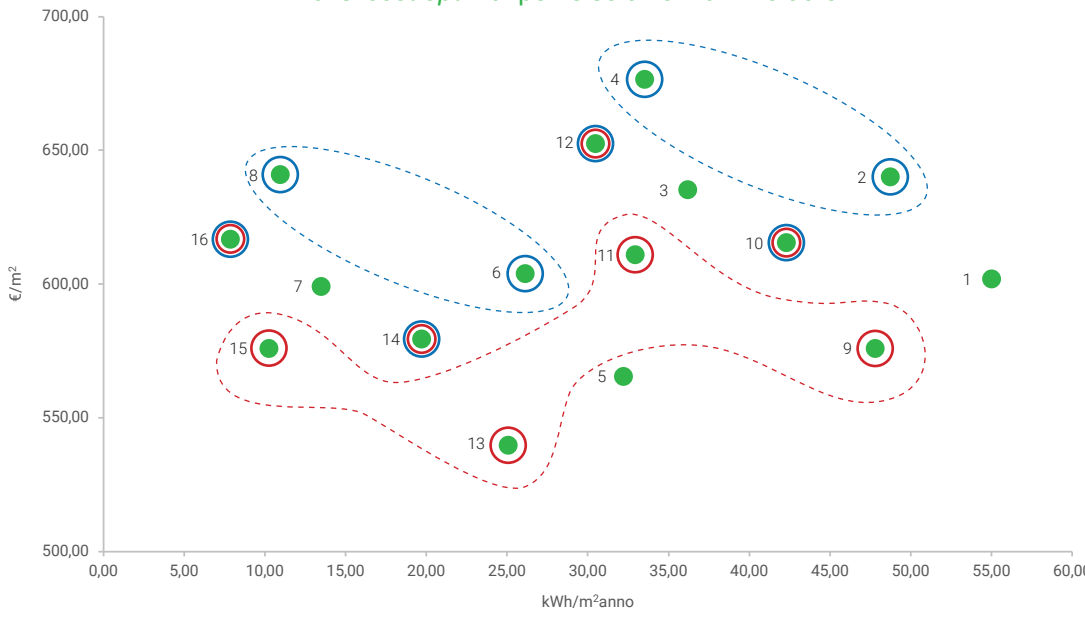


_soluzione 12
EP_{gl} = 30,52 kWh/m²a
C_G = 652,91 €/m²



_soluzione 16
EP_{gl} = 7,82 kWh/m²a
C_G = 616,71 €/m²

Analisi *cost optimal* per le soluzioni di involucro



pacchetti progettuali che hanno adottato il secondo livello di involucro trasparente (standard Passivhaus)

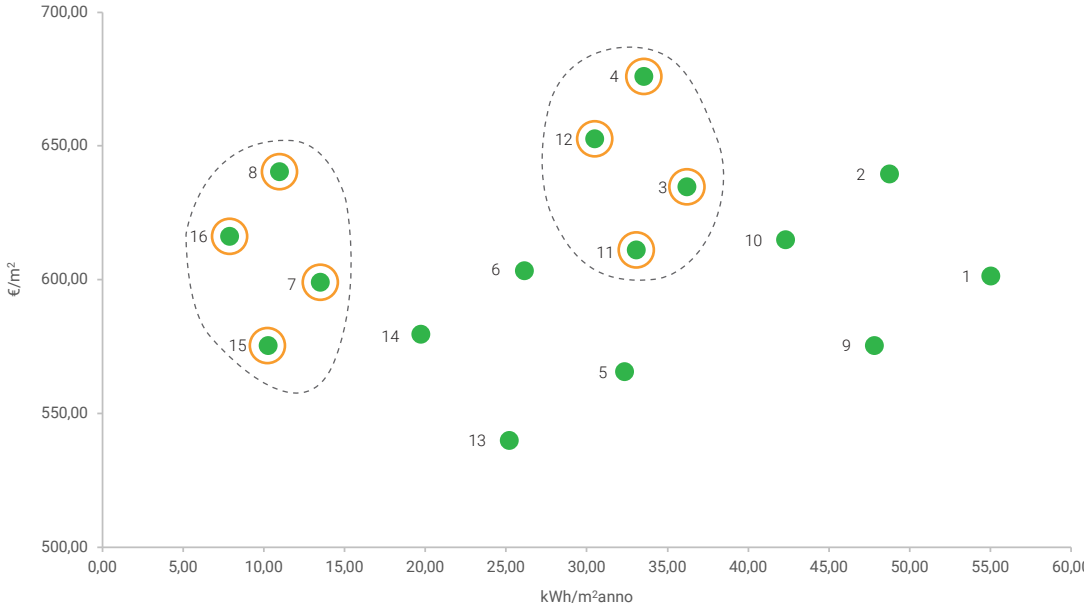
pacchetti progettuali che hanno adottato il secondo livello di involucro opaco (standard Passivhaus)

pacchetti progettuali che hanno adottato il secondo livello sia per l'involucro opaco che trasparente

In questo primo grafico vengono evidenziati i "pacchetti" che hanno adottato il secondo livello di prestazione energetica, ovvero seguendo gli standard Passivhaus, sia per l'involucro opaco che trasparente. Dalla loro posizione è possibile dedurre che non vi è convenienza nell'investire nell'involucro trasparente più performante. Questo perché il risparmio energetico che comporta l'installazione di vetrate triple riempite con gas krypton rispetto ai doppi vetri con argon non giustifica la differenza in termini di costo per la loro spesa iniziale.

Per quanto riguarda invece l'involucro opaco, la scelta di un involucro maggiormente isolato riduce notevolmente il fabbisogno energetico e i costi globali dei "pacchetti" progettuali che lo adottano. La loro performance globale è talmente elevata da non giustificare nemmeno la scelta di soluzioni che presentano livelli energetici superiori sia per l'involucro opaco che trasparente. Comparando la soluzione 16, ovvero quella più performante dal punto di vista energetico, con la soluzione 15, la quale si differenzia per presentare la tipologia di vetrata meno performante, si nota che il fabbisogno è inferiore di soli 2,49 kWh/m²anno contro una differenza di costo del 7%.

Analisi *cost optimal* per le soluzioni impiantistiche

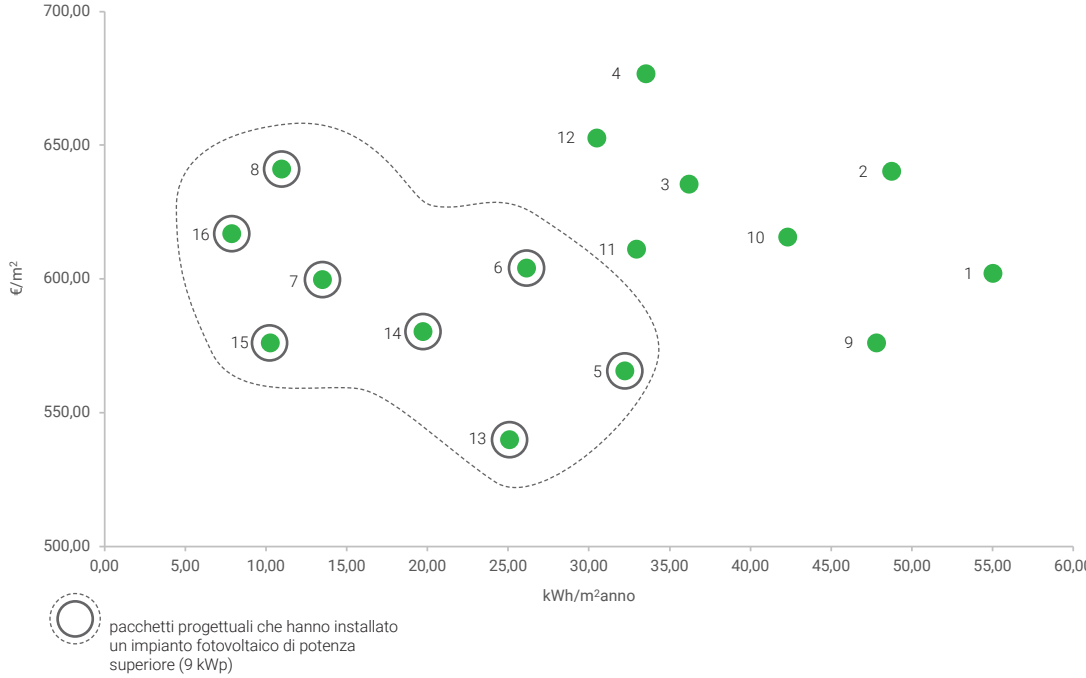


In questo grafico vengono invece analizzate l'insieme delle soluzioni progettuali che hanno considerato l'istallazione di una caldaia a condensazione piuttosto che la pompa di calore ad acqua di falda. Dal grafico si può facilmente dedurre come quest'ultima influisca in maniera importante sul fabbisogno di energia primaria.

Comparando la soluzione 14, la più performante tra quelle che hanno la caldaia a condensazione, con la soluzione 16, la più performante in assoluto, la differenza di fabbisogno è di 11,83 kWh/m²anno. Ciò significa che, per questo caso studio, la scelta di installare una pompa di calore ad acqua di falda rispetto ad una caldaia a condensazione può ridurre il fabbisogno energetico quasi del 40%.

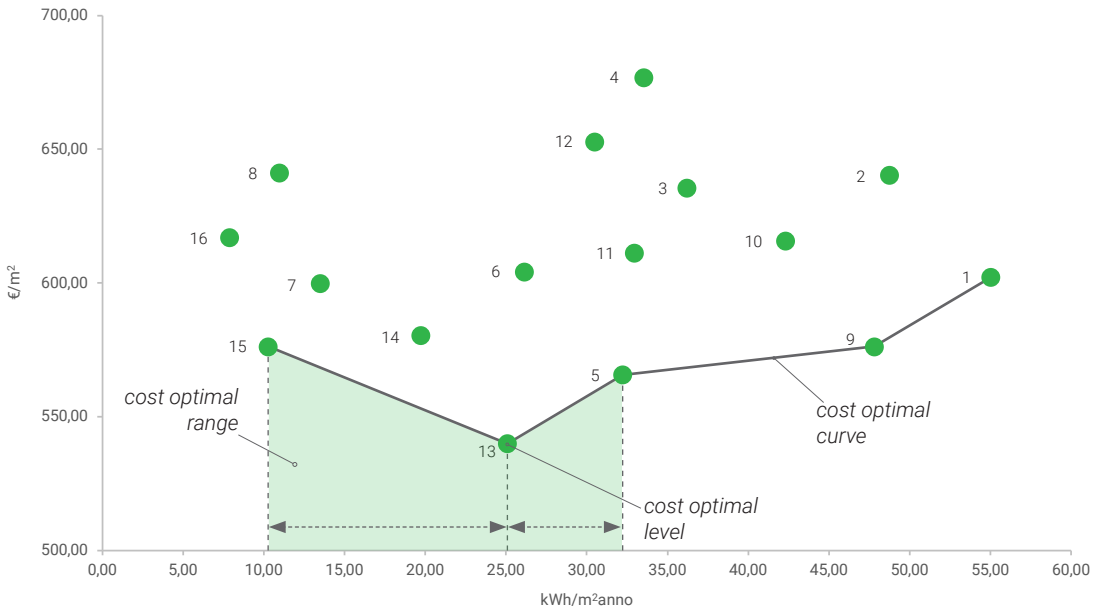
Tuttavia, le soluzioni che propongono la pompa di calore ad acqua di falda risultano avere costi globali di gran lunga superiori. Da un punto di vista economico risulta quindi più conveniente l'installazione di una caldaia a condensazione.

Analisi *cost optimal* per le soluzioni dell'impiego di risorse rinnovabili



In questo grafico si evidenziano le soluzioni che hanno preferito l'installazione di un sistema fotovoltaico più grande, 9 kWp, rispetto a quelle che si sono attenute al limite minino di legge (per questo caso studio 4,6 kWp). Quello che si può osservare è che, sia da un punto di vista energetico che economico, è assolutamente suggerito installare un sistema fotovoltaico più grande. Questo risultato è influenzato soprattutto dagli alti consumi di energia elettrica causati dalle apparecchiature interne, su tutti la ventilazione meccanica controllata.

Cost optimal analysis



Infine, viene analizzato il grafico nel suo complesso. La *cost optimal curve* evidenzia le soluzioni che presentano i costi globali più bassi. La soluzione ottimale è rappresentata dalla numero 13, composta da un involucro opaco basato sugli standard Passivhaus, un involucro trasparente che rispetta i minimi di legge indicate dall'allegato energetico della Regione Piemonte, caldaia a condensazione ed impianto fotovoltaico da 9 kWp.

Seppur rappresenti un risultato nettamente superiore alle altre soluzioni, esso va comparato nel suo *cost optimal range*. L'alternativa che presenta il costo globale minore è rappresentata dalla numero 5 la quale si differenzia solo per possedere un livello di involucro opaco meno performante. Confrontando non si ritiene logico puntare sulla soluzione 5 in quanto presenta un costo globale e fabbisogno energetico maggiore.

Più ragionevole è invece fare una comparazione con la soluzione numero 15. Utilizzare quest'ultima comporterebbe una diminuzione del consumo energetico del 40%, da 25,15 kWh/m^{2}anno a 10,31 kWh/m^{2}anno, a fronte però di un incremento del costo globale del 6%. Questo perché l'adozione della pompa di calore ad acqua di falda annulla i consumi di gas naturale ma aumenta quelli elettrici. In linea di massima, risulta quindi che le combinazioni progettuali aventi la caldaia a condensazione risultino essere più convenienti in quanto il fabbisogno di energia per riscaldamento rappresenti una parte minore del fabbisogno globale di energia primaria.

_ ANALISI DI SENSIBILITÀ

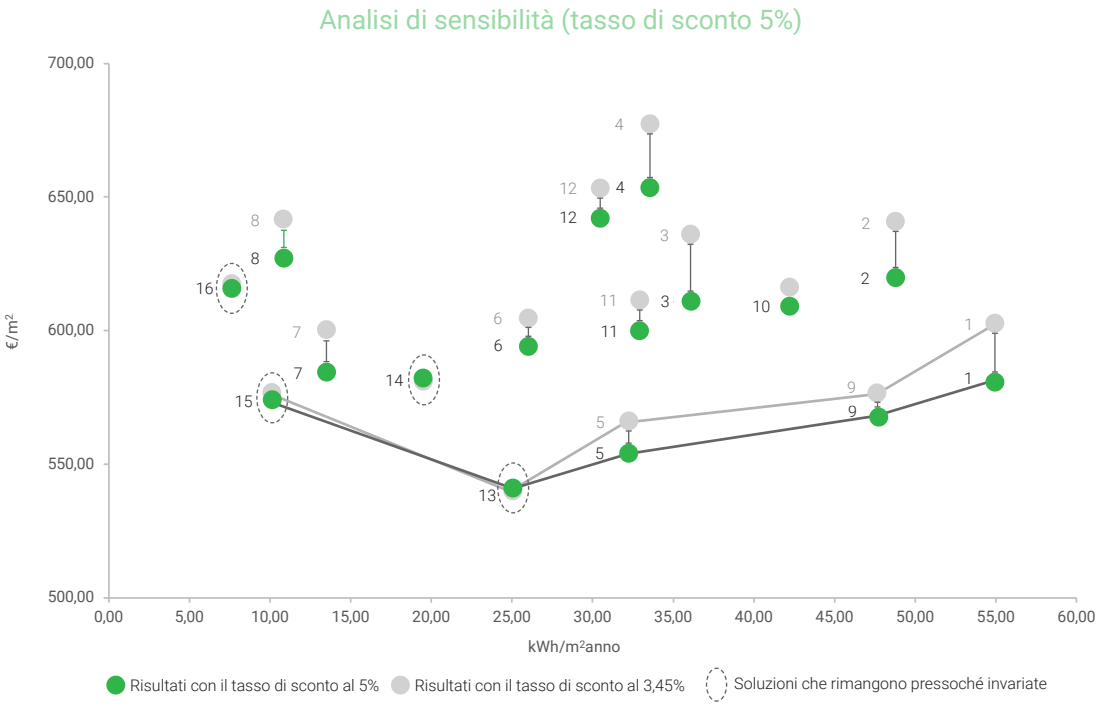
L'orientamento numero 115/01 del 19 aprile 2012, rilasciato dalla Commissione Europea, definisce l'analisi di sensibilità come "*una pratica corrente delle valutazioni ex ante quando i risultati sono funzione di ipotesi su parametri fondamentali il cui andamento futuro può avere un impatto significativo sul risultato*".

Si tratta di una pratica adoperata sovente per le valutazioni ex ante quando i risultati sono in funzione di parametri il cui andamento futuro può avere un impatto significativo sul risultato finale. Il fine di questa analisi è quindi quello di considerare l'impatto che hanno alcuni valori di input rispetto al risultato finale. Vengono quindi fatte variare quelle componenti di costo che presentano un certo margine di incertezza per valutare come il cambiamento di una di queste influenzi il costo globale. Grazie a questo processo è possibile individuare quali sono i dati di input su cui porre maggiore attenzione al fine di individuare il livello ottimale di prestazione energetica in funzione dei costi. Il progettista può quindi avvalersi di questo strumento per migliorare il processo decisionale valutando la "robustezza" delle decisioni prese e dei dati ottenuti dall'analisi di *Cost Optimal*.

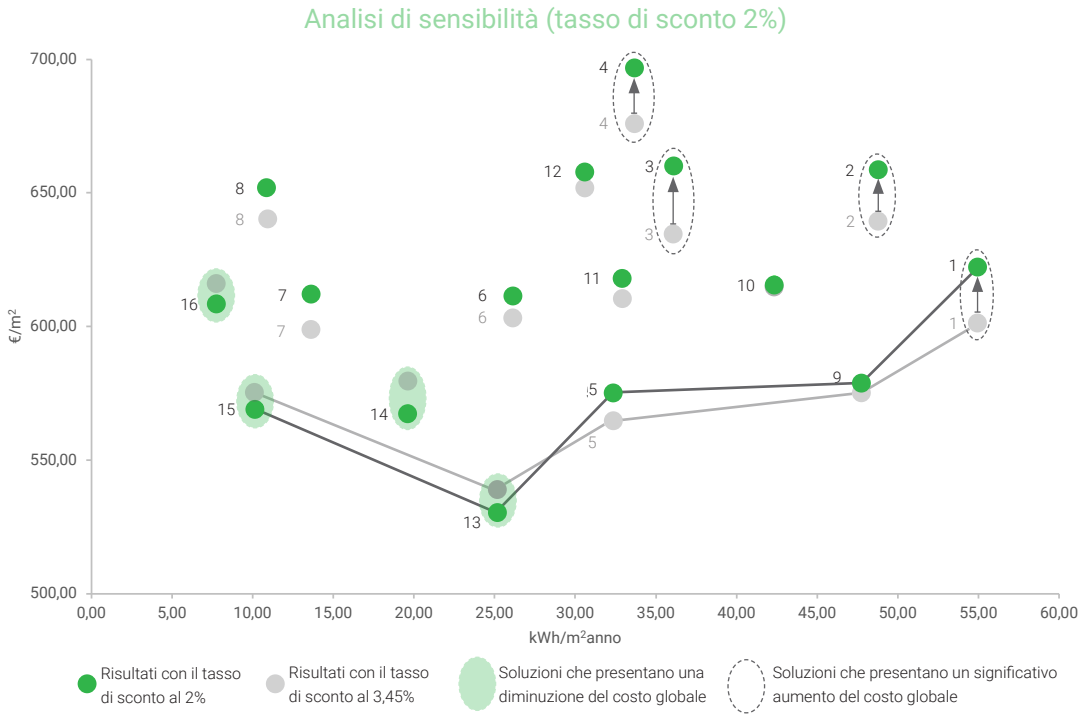
Il regolamento europeo impone che venga effettuata l'analisi di sensibilità almeno per quanto riguarda i prezzi dei vettori energetici e i tassi di sconto. Oltre a questo tipo di analisi, lo stesso documento invita ad effettuare ulteriori analisi in particolare per quanto riguarda i principali fattori di costo individuati nel calcolo.

Di seguito si propone la variazione dei costi globali ipotizzando diversi tassi di sconto. Da normativa, viene stabilito che almeno uno dei tassi previsti sia del 4%, ovvero del rendimento medio reale dei titoli di Stato a lungo termine nell'UE. Essendo molto simile a quello utilizzato per il calcolo, si ipotizza uno scenario con un tasso del 5% ed uno del 2%.

Applicando un saggio di sconto del 5%, si nota che il costo globale diminuisca maniera significativa per le prime quattro soluzioni, ovvero quelle con i costi di esercizio più elevati. Le soluzioni più performanti rimangono pressoché invariate. Per questo motivo, la soluzione numero 13 si riconferma essere la più indicata a livello economico.

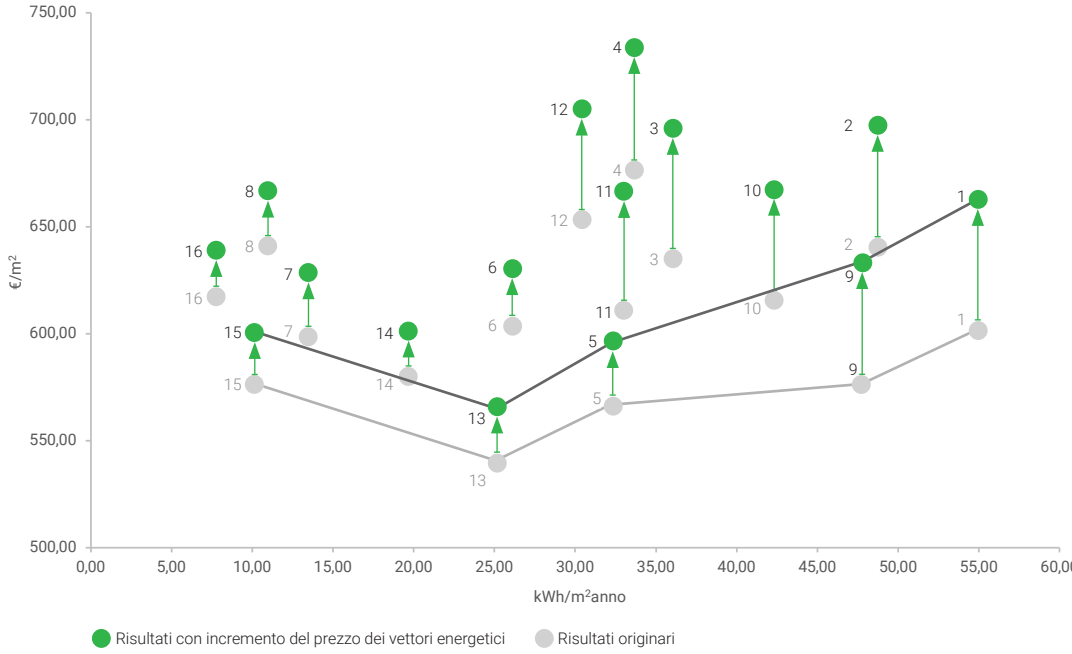


Applicando invece un tasso del 2%, il costo globale dei pacchetti più efficienti si abbassa mentre quella dei pacchetti meno performanti subisce un incremento. Anche in questo caso, nel grafico del *cost optimal* non si hanno variazione significative nell'individuazione del *cost optimal range*.



Per quanto riguarda invece l'analisi del prezzo dei vettori energetici, l'orientamento numero 115/01 del 2012 indica il modello PRIMES come fonte sul quale fare riferimento. Si tratta di un sistema di modellazione che simula una domanda di equilibrio del mercato dell'offerta e della domanda di energia. Dal sito web della Commissione Europea è possibile reperire questi dati tramite il report "E*U Energy, Transport and GHG Emission: Trends to 2050*" pubblicato nel 2016. L'incremento annuo dei prezzi energetici è individuato nella quota del 2,8%.

Analisi di sensibilità (incremento prezzo vettori energetici)



Dal grafico risulta che l'aumento del prezzo dei vettori energetici influenza maggiormente i "pacchetti" che presentano un EPgl maggiore. Si ha quindi un incremento maggiore del costo globale nella parte più a destra della *cost optimal curve* mentre rimane pressoché invariata nell'area che comprende i pacchetti con fabbisogni inferiori ai 30 kWh/m²anno. Anche a seguito di questa analisi si può dedurre che i risultati presenti nel cost optimal range risultino poco sensibili ad eventuali cambiamenti futuri di scenario rispetto a quello odierno.

Le considerazioni fatte finora riguardano ovviamente la tipologia di edificio presa in esame, con le sue caratteristiche tecnologiche e funzionali. Questo per sottolineare come sia sempre necessario eseguire analisi dettagliate ad hoc per il tipo di progetto da realizzare. Si ribadisce inoltre il fatto che il caso studio utilizzato in analisi si trovi ancora in fase preliminare. Quanto analizzato fino adesso può essere fondamentale negli sviluppi futuri i quali necessiteranno di ulteriori analisi di questo tipo.

Dalle analisi svolte in questo capitolo si deduce chiaramente come sia conveniente investire nelle soluzioni progettuali che presentino elementi più performanti dal punto di vista energetico nonostante questi presentino costi iniziali più elevati. Tuttavia, il fine dell'analisi non è semplicemente quello di analizzare come variano i costi globali al variare del fabbisogno energetico ma soprattutto come effettuare scelte sugli elementi da adottare al fine di ottimizzare i costi. Ad esempio, ci si può ritrovare nella soluzione in cui, a parità di EPgl, due pacchetti abbiano costi molto diversi tra loro. Questo perché, nelle soluzioni con il *global cost* minore, sono state effettuate scelte riguardo elementi edilizi ed impiantistici che hanno ottimizzato i costi.

Questo tipo di analisi si rivela di particolare importanza soprattutto in vista degli sviluppi normativi in ambito di sostenibilità ambientale. Su tutti, gli obiettivi fissati da "*Horizon 2020*" riguardo gli edifici ad energia quasi zero nella quale i progettisti si ritroveranno a dover concepire edifici ad altissime prestazioni energetiche e, di conseguenza, si ritroveranno a dover ottimizzare il più possibile i budget della committenza. Per questo motivo, non bisogna considerare solo la soluzione con il costo globale più basso, la numero 13, ma considerare anche quelle meno energivore, come ad esempio la numero 15.

Al termine di questo percorso di tesi sono diverse le considerazioni riguardo le tematiche affrontate. In quest'ultima parte verranno riassunte quelle che sono state le principali potenzialità riscontrate, i punti critici e i possibili sviluppi futuri nei vari ambiti esaminati.

L'approccio al cost optimal

L'analisi di *cost optimal* si è rivelato uno strumento di *decision making* in grado di fornire un aiuto fondamentale alla progettazione architettonica. Non si tratta quindi solamente di una pratica al fine di valutare la sostenibilità economica ed energetica di soluzioni progettuali, ma consente di individuare quali sono le componenti utili al risparmio energetico e sulla quale è preferibile investire al fine di ottimizzare le risorse economiche. Questo aspetto è particolarmente rilevante se viene considerata la limitata disponibilità economica del mercato odierno e l'urgente necessità di rispondere in maniera positiva alla salvaguardia del nostro pianeta.

Tuttavia, ci sono diversi aspetti critici riguardo l'utilizzo di questa metodologia. Un aspetto fondamentale che non viene tenuto in considerazione è la valutazione del comfort dell'ambiente interno. Questa caratteristica potrebbe rappresentare un requisito significativo a livello progettuale tale da giustificare l'eventuale scelta di soluzioni con un costo globale più elevato.

Inoltre, l'analisi esclude alcuni aspetti rilevanti legati alla sostenibilità ambientale. L'impatto della soluzione progettuale è valutato solo sul comportamento durante la sua fase di utilizzo, senza considerare il suo intero ciclo di vita. Viene così escluso l'impatto ambientale che i componenti edilizi hanno rispetto alla loro realizzazione e al loro smaltimento.

Spetta quindi al progettista adottare un approccio meno pragmatico rispetto a quanto riportato esclusivamente sulla norma, accostando al calcolo del costo globale altre valutazioni in grado di esprimere la qualità progettuale anche sotto altri aspetti. Un eventuale sviluppo successivo potrebbe essere rappresentato dall'integrazione di questa metodologia con analisi LCA (*Life Cycle Assessment*). In questa maniera la sostenibilità ambientale non si limiterebbe ai soli aspetti energetici.

BIM e simulazione energetica

Il supporto del BIM per la simulazione energetica ha comportato una serie di vantaggi notevoli, derivati soprattutto dalla possibilità di poter utilizzare lo stesso modello architettonico anche per l'analisi energetica. L'interoperabilità tra BIM e Design Builder ha comportato l'adozione di una serie di accorgimenti i quali, seppur non abbiano compromesso il risultato finale, hanno evidenziato come il processo abbia bisogno di essere affinato.

Infatti, una lacuna rilevante è stata messa in luce dalla mancanza della bidirezionalità tra i software. Questo aspetto si è rivelato in contrasto con la metodologia BIM di un modello sempre aggiornato e coerente in ogni ambito progettuale. A tal proposito si sottolinea il fatto che esistono strumenti in grado di eseguire l'analisi energetica direttamente dal software BIM utilizzato. Attraverso "Autodesk Insight 360", ad esempio, è possibile visionare online un report energetico del modello BIM, costituito da grafici e tabelle che riportano valori relativi ai consumi energetici in maniera molto dettagliata. Inoltre, fornisce una lunga serie di suggestioni progettuali riguardo l'implementazione del progetto, indicando persino le relative conseguenze sul piano energetico e monetario nel caso in cui si utilizzino le soluzioni consigliate. Seppur si preannunci uno strumento molto utile, la sua precisione lascia qualche dubbio. Non esiste, infatti, la possibilità specificare una lunga serie di caratteristiche dell'edificio e, in particolare, degli impianti. Risulta quindi uno strumento poco flessibile ed apparentemente superficiale, restituendo quindi dei risultati poco attendibili.

Altro strumento sviluppo dalla stessa Autodesk è "Green Building Studio". In maniera simile a "Insight 360", produce in automatico dei report online sulla base del modello energetico creato in Revit. In questo caso, lo strumento si dimostra più flessibile con la possibilità di poter impostare maggiori parametri dal punto di vista costruttivo, delle attività svolte all'interno dei locali e sulla composizione del sistema impiantistico. Ciò nonostante questo livello di settaggi rimane comunque molto limitato e di gran lunga distate dalla possibilità offerte dai software specifici di simulazione energetica offerti dal mercato.

Un'altra criticità è il fatto che, nel processo di esportazione del modello BIM ed importazione nel software di analisi energetica, molte informazioni vanno perse limitando le potenzialità di questi strumenti. Ad esempio, il file gbXML esportato da Revit non contiene parametri quali le attività dei locali, informazioni sulle componenti impiantistiche e sugli infissi i quali devono essere impostati dal software di analisi energetica. Risolvere questo tipo di problematiche migliorerebbe operativamente e qualitativamente la progettazione integrata.

Altro punto critico riguarda la precisione del modello energetico, aspetto analizzato nel quarto capitolo. Numerosi studi sono stati effettuati a riguardo ed hanno dimostrato che è possibile ridurre ulteriormente lo scarto tra modello architettonico ed analitico. Tuttavia, questi risultati sono ottenibili a fronte di un notevole impiego di tempo e con accorgimenti che spesso riguardano la semplificazione del modello architettonico. Soprattutto ad alti livelli di dettaglio del progetto, questo aspetto crea un conflitto con il concetto di modello condiviso tra tutte le figure coinvolte nella progettazione.

BIM e condivisione del database

Per quanto riguarda la gestione e la condivisione del database con piattaforme terze ci sono stati riscontri positivi in merito al processo di interoperabilità. È stato infatti possibile creare un flusso di lavoro bidirezionale connesso direttamente al modello BIM.

Rimane però una grossa criticità legata al computo di alcune stratigrafie le quali sono state considerate in maniera separata rispetto al resto del database condiviso. Uno dei possibili sviluppi futuri in quest'ambito potrebbe riguardare l'implementazione della condivisione dei database dei progetti diminuendo il numero di passaggi tra modello digitale e fogli di calcolo.

Il contesto in cui si trova il settore costruttivo oggi è condizionato da direttive europee sempre più restringenti in termini di risparmio energetico. Senza dubbio questo rappresenta una risposta positiva alla crisi ambientale ma la condizione economica del mercato rimane un grosso ostacolo per lo sviluppo sostenibile. Questo progetto di tesi ha messo in luce il fatto che esistono strumenti e tecnologie in grado di dare risposte positive in tal senso ma, indubbiamente, questi hanno bisogno di essere implementati al fine di sfruttarne tutte le loro potenzialità.

_BIBLIOGRAFIA

LIBRI

Cappochin S., Maistri D., Torre A. (2011), *Efficenza energetica in architettura: Metodo BIM (Building Information Modelling) e metodo CasaClima per la progettazione di edifici a basso fabbisogno energetico*, Il Sole 24 Ore, Milano.

Eastman C., Teicholz P., Sacks R., Liston K. (2011), *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors*, Wiley, Hoboken.

Cumo F., Sferra A., Pennacchia E. (2015), *Uso Disuso Riuso: Criteri e modalità per il riuso dei rifiuti come materiale per l'edilizia*, FrancoAngeli, Milano.

Osello A. (2012), *Il Futuro del disegno con il BIM per ingegneri e architetti*, Dario Flaccovio Editore, Palermo.

Fregonara E. (2015), *Valutazione sostenibilità progetto: Life Cycle Thinking e indirizzi internazionali*, Franco Angeli, Milano.

Hegger M. (2008), *Correttezza delle strategie: tra rendimento e sostenibilità*, in Atlante della Sostenibilità e dell'efficenza energetica degli edifici, di Hegger M., Fuchs M., Stark T., Zeumer M, UTET, Milano.

Luebkeman C. (2008), *Cambiamente Globali*, in Atlante della Sostenibilità e dell'efficenza energetica degli edifici, di Hegger M., Fuchs M., Stark T., Zeumer M, UTET, Milano.

Meadow D., Meadows D, Randers J., Behrens W., (1972), *The Limits to Growth*, Universe Book, New York.

Mondini G., Bottero M. (2009), *Valutazione e sostenibilità: piani, programmi, progetti*, Celid, Torino.

Silenziosi Operari della Croce (2007), *La Beata Vergine Potente del Trompone*, Istituto Salesiano Pio XI, Roma.

RIVISTE E PUBBLICAZIONI

Mingucci R., Garagnani S., Luciani S. (Giugno 2012), *CAD versus BIM: evoluzione di acronimi o rivoluzione nel mondo della progettazione?*, Disegnare idee e immagini.

Chiaia B., Davardoust S.,Osello A. (Novembre 2015), *BIM ed efficienza energetica nella progettazione integrata basata sul database INNOVance con il formato IFC*, INGENIO.

McPartland R. (Luglio 2017), *What is BIM?*, consultato Ottobre 2, 2017, da https://www.thenbs.com/knowledge/bim-dimensions-3d-4d-5d-6d-bim-explained.

Ferraris F. (Marzo 2016), *Il BIM entra nel Codice Appalti*, consultato Ottobre 3, 2017, da https://www.lavoripubblici.it/news/2016/03/LAVORI-PUBBLICI/16675/Il-BIM-entra-nel-Codice-Appalti.

Negri R. (Gennaio 2017), *Appalti: dal 2019 BIM obbligatorio sopra i 100 milioni*, consultato Ottobre 3, 2017, da https://www.bimportale.com/appalti-dal-2019-bim-obbligatorio-100-milioni.

Garagnani S. (Aprile 2016), *I Livelli di Sviluppo (LOD) nel progetto digitalizzato: La misura dell'informazione all'interno del percorso BIM*, consultato Ottobre 10, 2017, da www.buildingsmartitalia.org/2016/04/22/i-livelli-di-sviluppo-lod-nel-progetto-digitalizzato-la-misura-dellinformazione-allinterno-del-percorso-bim.

Dalla Mora T., Peron F., Cappelletti F., Romagnoni P., Ruggeri P. (Novembre 2014), *Una panoramica sul building Information Modelling*, AiCARR, consultato Ottobre 3, 2017, da http://www.corviale.com/wp-content/uploads/2015/01/panoramica-sul-bim.pdf

Fabbri K., Tronchin L., Tarabusi V. (2013), *The Cost-Optimal levels of Energy Performance requirements; rules and case study applications*, 13' Conferenza International Building Performance Simulation Association. Chambéry.

Tagliabue L.C., Di Giuda G.M., Villa V., De Angelis E., Ciribini A. L. C. (2017), *Techno-economical Analysis based on a Parametric Computational Evaluation for decision process on envelope technologies and configurations*, Energy and Building 158, 736 – 749.

Corgnati S.P., Fabrizio E., Filippi M., Monetti V. (2013), *Reference buildings for cost optimal analysis: method of definition and application*, Appl. Energy 102, 983 – 993.

IEA (2013), *Transition to Sustainable Design*, disponibile a http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Building2013_free.pdf.

Passivhaus Institut (2016), *Criteri per la certificazione Passivhaus ed EnerPHit,* disponibile a http://www.zephir.ph/uploads/media/9e_160310_criteri_di_certificazione_PHI.pdf.

DesignBuilder Revit – gbXML Tutorial, disponibile a www.batisim.net/index.php/.../336-revit-import-gbxml.html

European Commission (2016) *,EU Energy, Transport and GHG Emission: Trends to 2050*, European Commission, Luxemburg, disponibile a https://ec.europa.eu/energy/sites/.../20160713%20draft_publication_REF2016_v13.pdf

RIFERIMENTI NORMATIVI

UNI 11337:2017, *Edilizia e opere di ingegneria civile - Gestione digitale dei processi informativi delle costruzioni.*

EN 15459:2007, *Energy performance of buildings – Economic Evaluation procedure for energy systems in buildings.*

UNI EN ISO 6946:2008, *Componenti ed elementi per edilizia - Resistenza termica e trasmittanza termica - Metodo di calcolo.*

UNI TS 11300:2008 parte 1, *Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale.*

UNI TS 11300:2008 parte 2, *Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria.*

UNI EN 15251:2008, *Criteri per la progettazione dell'ambiente interno e per la valutazione della prestazione energetica degli edifici, in relazione alla qualità dell'aria interna, all'ambiente termico, all'illuminazione e all'acustica.*

RIFERIMENTI LEGISLATIVI

Decreto Legislativo del 18 aprile 2016 n. 50, Articolo 23, *Livelli della progettazione per gli appalti, per le concessioni di lavori nonché per i servizi*.

Direttiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo del Consiglio del 19 maggio2010 sulla prestazione energetica nell'edilizia (EPBD recast);

Orientamenti n. 115/01 del 19 aprile 2012 che accompagnano il regolamento delegato (UE) n.244/2012 del 16 gennaio 2012 della Commissione che integra la direttiva 2010/31/UE del Parlamento europeo e del Consiglio sulla prestazione energetica nell'edilizia istituendo un quadro metodologico comparativo per calcolare livelli ottimali in funzione dei costi per i requisiti minimi di prestazione energetica degli edifici e degli elementi edilizi.

Deliberazione della Giunta Regionale 4 agosto 2009, n.46-11968, *Aggiornamento del Piano regionale per il riscaldamento e la tutela della qualità dell'aria* – Stralcio di piano per il riscaldamento ambientale e il condizionamento e disposizioni attuative in materia di rendimento energetico nell'edilizia ai sensi dell'articolo 21, comma 1, lettere a) b) e q);

Deliberazione della Giunta Regionale 30 maggio 2016, n. 29-3386, *Disposizioni per la tutela dell'ambiente in materia di inquinamento atmosferico. Armonizzazione del Piano regionale per il risanamento e la tutela della qualità dell'aria con gli aggiornamenti del quadro normativo comunitario e nazionale*.

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

TESI

Barthelmes V.M. (2014), *Nearly zero energy building, progettazione energetica orientata alla cost-optimality*, Tesi di Laurea Magistrale in Architettura Costruzione e Città, Politecnico di Torino.

Milani N., Quercia C. (2014), *La metodologia cost optimal come strumento per la riqualificazione energetica di un edificio ex-industriale: limiti e prospettive*, Tesi di Laurea Magistrale in Architettura per il Progetto sostenibile, Politecnico di Torino.

Pagliaro D. (2015), *La cost optimal analysis come strumento decisionale per il retrofit energetico di un edificio per uffici*, Tesi di Laurea Magistrale in Architettura per il Progetto Sostenibile, Politecnico di Torino.

Salzano A. (2015), Metodologie BIM per la Progettazi*one Integrata di Interventi di Riqualificazione e Rinforzo Strutturale Orientata alla Sostenibilità Ambientale,* Tesi di Dottorato, Università Degli Studi Di Napoli Federico II.

Galfo V. (2016), *Il BIM per l'analisi energetica: confronto tra simulazione dinamica e statica del centro servizi di Envipark,* Tesi di Laurea Magistrale in Ingegneria Edile, Politecnico di Torino.

Sabbar O. (2017), *BIM per la modellazione energetica e integrazione con sistemi ICT per le attività di monitoraggio*, Tesi di Laurea Magistrale in Architettura Costruzione e Città, Politecnico di Torino.

SITOGRAFIA

http://www.buildingsmart-tech.org/about-us/msg

http://www.gbxml.org/About_GreenBuildingXML_gbXML

http://www.wdbg.org/bim/bim.php

www.trompone.it/il-santuario-della-beata-vergine-del-trompone/

https://knowledge.autodesk.com/it/support/revit-products/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2017/ITA/Revit-AddIns/files/GUID-13119B8A-2BEA-436E-BF63-37D9BEB87247-htm.html

https://www.designbuilder.co.uk/helpv4.2/

www.regione.piemonte.it/oopp/prezzario/

https://www.arera.it/it/index.htm

www.borse.it/quotazioni/valore/Btp-Tf-3,45-Mz48-Eur__IT0005273013/

ALLEGATI

_SCHEDA ELEMENTI 109

_RISULTATI SIMULAZIONI ENERGETICHE 110

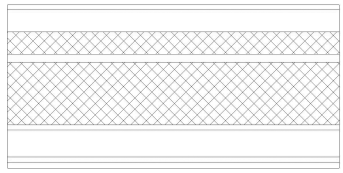
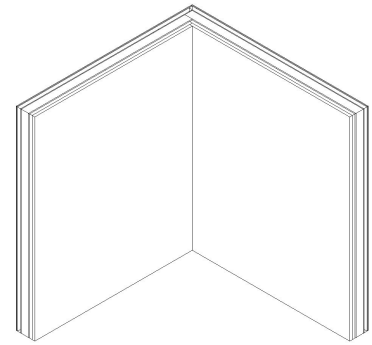
_COSTI DI INVESTIMENTO INIZIALI 114

_COSTI DI ESERCIZIO 120

_COSTI DI MANUTENZIONE E SOSTITUZIONE 121

_VALORE RESIDUO 122

_SCHEDA ELEMENTI

MURO	**Famiglia di Sistema**
LOD 300: gli elementi sono definiti per forma, quantità, dimensione e posizione, mantenendo la possibilità di comportarsi da link verso documenti loro allegati.	
	
Parametro:	**Descrizione:**
Spessore materiale	Inserire tutti gli strati che compongono la stratigrafia della parete compresi gli eventuali "strati membrana" con spessore = 0 mm
Caratteristiche termiche	Per ogni materiale impostare le caratteristiche termiche aggiungendo l'apposita scheda nelle proprietà del materiale. I valori fondamentali sono: • Conducibilità; • Densità; • Calore specifico; • Permeabilità (al vapore).
Fase di creazione	Creare una fase per ogni diversa soluzione progettuale di involucro opaco ed assegnarla ai relativi muri.

_Pacchetto 1-5

End Uses

	Electricity [kWh]	Natural Gas [kWh]	Additional Fuel [kWh]
Heating	2718.42	5409.31	0.00
Cooling	5278.24	0.00	0.00
Interior Lighting	0.00	0.00	0.00
Exterior Lighting	0.00	0.00	0.00
Interior Equipment	3657.35	0.00	0.00
Exterior Equipment	0.00	0.00	0.00
Fans	1619.90	0.00	0.00
Pumps	98.15	0.00	0.00
Heat Rejection	0.00	0.00	0.00
Humidification	0.00	0.00	0.00
Heat Recovery	0.00	0.00	0.00
Water Systems	0.00	4302.98	0.00
Refrigeration	0.00	0.00	0.00
Generators	0.00	0.00	0.00
Total End Uses	13372.07	9712.30	0.00

Note: Natural gas appears to be the principal heating source based on energy usage.

_Pacchetto 2-6

End Uses

	Electricity [kWh]	Natural Gas [kWh]	Additional Fuel [kWh]
Heating	2104.44	4116.28	0.00
Cooling	5187.39	0.00	0.00
Interior Lighting	0.00	0.00	0.00
Exterior Lighting	0.00	0.00	0.00
Interior Equipment	3657.35	0.00	0.00
Exterior Equipment	0.00	0.00	0.00
Fans	1521.30	0.00	0.00
Pumps	96.18	0.00	0.00
Heat Rejection	0.00	0.00	0.00
Humidification	0.00	0.00	0.00
Heat Recovery	0.00	0.00	0.00
Water Systems	0.00	4272.72	0.00
Refrigeration	0.00	0.00	0.00
Generators	0.00	0.00	0.00
Total End Uses	12566.66	8389.00	0.00

Note: Natural gas appears to be the principal heating source based on energy usage.

_Pacchetto 3-7

End Uses

	Electricity [kWh]	Natural Gas [kWh]	Additional Fuel [kWh]
Heating	3342.32	0.00	0.00
Cooling	3214.89	0.00	0.00
Interior Lighting	0.00	0.00	0.00
Exterior Lighting	0.00	0.00	0.00
Interior Equipment	3657.35	0.00	0.00
Exterior Equipment	0.00	0.00	0.00
Fans	1619.90	0.00	0.00
Pumps	420.81	0.00	0.00
Heat Rejection	0.00	0.00	0.00
Humidification	0.00	0.00	0.00
Heat Recovery	0.00	0.00	0.00
Water Systems	4296.62	0.00	0.00
Refrigeration	0.00	0.00	0.00
Generators	0.00	0.00	0.00
Total End Uses	16551.89	0.00	0.00

Note: Electricity appears to be the principal heating source based on energy usage.

_Pacchetto 4-8

End Uses

	Electricity [kWh]	Natural Gas [kWh]	Additional Fuel [kWh]
Heating	2649.18	0.00	0.00
Cooling	3189.91	0.00	0.00
Interior Lighting	0.00	0.00	0.00
Exterior Lighting	0.00	0.00	0.00
Interior Equipment	3657.35	0.00	0.00
Exterior Equipment	0.00	0.00	0.00
Fans	1521.30	0.00	0.00
Pumps	412.75	0.00	0.00
Heat Rejection	0.00	0.00	0.00
Humidification	0.00	0.00	0.00
Heat Recovery	0.00	0.00	0.00
Water Systems	4265.85	0.00	0.00
Refrigeration	0.00	0.00	0.00
Generators	0.00	0.00	0.00
Total End Uses	15696.34	0.00	0.00

Note: Electricity appears to be the principal heating source based on energy usage.

_Pacchetto 9-13

End Uses

	Electricity [kWh]	Natural Gas [kWh]	Additional Fuel [kWh]
Heating	1955.78	3872.35	0.00
Cooling	5475.81	0.00	0.00
Interior Lighting	0.00	0.00	0.00
Exterior Lighting	0.00	0.00	0.00
Interior Equipment	3523.11	0.00	0.00
Exterior Equipment	0.00	0.00	0.00
Fans	1545.14	0.00	0.00
Pumps	97.52	0.00	0.00
Heat Rejection	0.00	0.00	0.00
Humidification	0.00	0.00	0.00
Heat Recovery	0.00	0.00	0.00
Water Systems	0.00	4140.88	0.00
Refrigeration	0.00	0.00	0.00
Generators	0.00	0.00	0.00
Total End Uses	12597.36	8013.24	0.00

Note: Natural gas appears to be the principal heating source based on energy usage.

_Pacchetto 10-14

End Uses

	Electricity [kWh]	Natural Gas [kWh]	Additional Fuel [kWh]
Heating	1417.74	2673.99	0.00
Cooling	5443.77	0.00	0.00
Interior Lighting	0.00	0.00	0.00
Exterior Lighting	0.00	0.00	0.00
Interior Equipment	3523.11	0.00	0.00
Exterior Equipment	0.00	0.00	0.00
Fans	1443.53	0.00	0.00
Pumps	95.75	0.00	0.00
Heat Rejection	0.00	0.00	0.00
Humidification	0.00	0.00	0.00
Heat Recovery	0.00	0.00	0.00
Water Systems	0.00	4105.05	0.00
Refrigeration	0.00	0.00	0.00
Generators	0.00	0.00	0.00
Total End Uses	11923.89	6779.05	0.00

Note: Natural gas appears to be the principal heating source based on energy usage.

_Pacchetto 11-15

End Uses

	Electricity [kWh]	Natural Gas [kWh]	Additional Fuel [kWh]
Heating	2486.84	0.00	0.00
Cooling	3368.61	0.00	0.00
Interior Lighting	0.00	0.00	0.00
Exterior Lighting	0.00	0.00	0.00
Interior Equipment	3523.11	0.00	0.00
Exterior Equipment	0.00	0.00	0.00
Fans	1545.14	0.00	0.00
Pumps	405.67	0.00	0.00
Heat Rejection	0.00	0.00	0.00
Humidification	0.00	0.00	0.00
Heat Recovery	0.00	0.00	0.00
Water Systems	4133.34	0.00	0.00
Refrigeration	0.00	0.00	0.00
Generators	0.00	0.00	0.00
Total End Uses	15462.71	0.00	0.00

Note: Electricity appears to be the principal heating source based on energy usage.

_Pacchetto 12-16

End Uses

	Electricity [kWh]	Natural Gas [kWh]	Additional Fuel [kWh]
Heating	1787.79	0.00	0.00
Cooling	3359.94	0.00	0.00
Interior Lighting	0.00	0.00	0.00
Exterior Lighting	0.00	0.00	0.00
Interior Equipment	3523.11	0.00	0.00
Exterior Equipment	0.00	0.00	0.00
Fans	1443.53	0.00	0.00
Pumps	391.43	0.00	0.00
Heat Rejection	0.00	0.00	0.00
Humidification	0.00	0.00	0.00
Heat Recovery	0.00	0.00	0.00
Water Systems	4096.34	0.00	0.00
Refrigeration	0.00	0.00	0.00
Generators	0.00	0.00	0.00
Total End Uses	14602.14	0.00	0.00

Note: Electricity appears to be the principal heating source based on energy usage.

_Involucro opaco

Livello enegetico			Codice elemento	Descrizione elemento	Dettagli elemeto	U.M.	P.U.	Incidenza manodopera	Quantità da DB	C.I. stimato
							[€]	[%]	[-]	[€]
Allegato energetico Regione Piemonte	Involucro opaco 1	Parete perimetrale	01.A17.A74.005	Fornitura e posa in opera di parete ventilata composta da una struttura 4,5x14,5 cm in abete, rivestimento esterno in OSB , telo antivento, listellatura con passo 40 cm in abete e spessore 2 cm, doghe esterne in abete spessore 2,5 con le lavorazioni occorrenti, nessuna opera esclusa; esclusa la fornitura e la posa di materiale isolante della finitura	spessore OSB 1 cm	m²	132,10	63,53%	335,24	44285,39
			01.P09.B85.040	Lana di roccia per isolamenti termoacustici in pannelli, su sottofondo in carta,della densita' di 100 kg/m³;con adeguata protezione di barriera al vapore	spessore mm 100	m²	16,32		335,24	5471,14
			01.A09.G50.005	Posa in opera di materiali per isolamento termico (lana di vetro o di roccia, polistirolo, poliuretano, materiali similari) sia in rotoli che in lastre di qualsiasi dimensione e spessore, compreso il carico, lo scarico, il trasporto e deposito a qualsiasi piano del fabbricato	Per superfici verticali o simili	m²	10,16	96,55%	335,24	3406,05
			01.P09.B11.015	Pannelli rigidi in lana di roccia della densita' di 70 kg/m³ e lamda inferiore a 0,035 W/mK. Per l'isolamento termo-acustico di pareti e solai e trattata con resine termoindurenti, euroclasse A1	spessore 50 mm	m²	5,68		340,95	1936,62
			03.A07.A01.005	Realizzazione di isolamento termico a cappotto con lastre di qualsiasi dimensione e spessore, compreso il carico, lo scarico, il trasporto e deposito a qualsiasi piano del fabbricato. Sono compresi inoltre gli oneri relativi a: incollaggio e/o tassellatura e sagomatura dei pannelli, rasatura, stesura di fissativo, applicazione del rasante a base di calce idraulica naturale steso con spatola d'acciaio, compresa la posa di rete d'armatura e di ogni altro onere necessario per dare l'opera finita a perfetta regola d'arte. (esclusa la fornitura dell'isolante)	Su superfici esterne verticali	m²	43,62	73,15%	340,95	14872,39
		Copertura	01.P09.B11.050	Pannelli rigidi in lana di roccia della densita' di 70 kg/m³ e lamda inferiore a 0,035 W/mK. Per l'isolamento termo-acustico di pareti e solai e trattata con resine termoindurenti, euroclasse A1	spessore 140 mm	m²	15,25		250,65	3822,34
		Solaio contro terra	01.A01.B10.030	Scavo di materiali di qualsiasi natura in ambito urbano, fino ad una profondita' massima di cm 60, compreso l'eventuale dissodamento e/o disfacimento della pavimentazione bituminosa, l'accumulo, il carico ed il trasporto alla discarica del materiale. per profondita' fino a	Cm 40 eseguito a macchina	m²	15,74	70,19%	214,91	3382,68
			01.A09.B00.005	Manto impermeabile in malta bituminosa dato in opera su sottofondo esistente	Dello spessore di mm 20	m²	25,58	86,30%	214,91	5497,51
			01.P09.A17.010	Argilla espansa	in sacchi	m³	58,28		42,98	2504,99
			01.A01.B90	Riempimento degli scavi in genere, eseguito con qualsiasi materiale, compresa la costipazione ogni 30 cm di spessore, esclusa la fornitura del materiale	Eseguito con idonei mezzi meccanici.	m³	6,59	68.48%	42,98	283,25
			01.A04.B05.020	Calcestruzzo confezionato in cantiere con kg 300 di cemento tipo 32,5 R, m³ 0,4 di sabbia e m³ 0,8 di ghiaietto, fornito in opera, da non impiegare per usi strutturali	Con betoniera	m^3	90,64	32.84%	21,49	1947,94
			01.A04.C03.010	Getto in opera di calcestruzzo cementizio eseguito direttamente da autobetoniera con apposita canaletta	In strutture di fondazione	m³	8,10	100,00%	21,49	174,08
			01.P09.B88.015	Provvista di pannelli rigidi in lana di roccia idrorepellente legata con resine termoindurenti,per isolamenti termoacustici, aventi densita'non inferiore a 150 kg/m³, elevata resistenza a compressione; lambda inferiore a 0,040 W/mK	spessore mm50	m²	8,83		214,91	1897,69
			01.A09.G50.005	Posa in opera di materiali per isolamento termico (lana di vetro o di roccia, polistirolo, poliuretano, materiali similari) sia in rotoli che in lastre di qualsiasi dimensione e spessore, compreso il carico, lo scarico, il trasporto e deposito a qualsiasi piano del fabbricato	Per superfici in piano e simili	m²	6,54	100,00%	214,91	1405,54
			01.A11.A40.005	Sottofondo per pavimenti di spessore fino a cm 15 Formato con calcestruzzo cementizio avente resi-stenza caratteristica di kg/cm² di 150, per ogni cm di spessore e per superfici di almeno m² 0,20. Cm=	10	m²	3,46	81,67%	2149,14	7436,04
									TOT. INVOLUCRO OPACO SOLUZIONE 1	98323,65

Livello enegetico			Codice elemento	Descrizione elemento	Dettagli elemeto	U.M.	P.U.	Incidenza manodopera	Quantità da DB	C.I. stimato
							[€]	[%]	[-]	[€]
Standard Passivhaus	Involucro opaco 2	Parete perimetrale	01.A17.A74.005	Fornitura e posa in opera di parete ventilata composta da una struttura 4,5x14,5 cm in abete, rivestimento esterno in OSB , telo antivento, listellatura con passo 40 cm in abete e spessore 2 cm, doghe esterne in abete spessore 2,5 con le lavorazioni occorrenti, nessuna opera esclusa; esclusa la fornitura e la posa di materiale isolante della finitura	spessore OSB 1 cm	m²	132,10	63,53%	333,54	44060,66
			01.P09.B85.050	Lana di roccia per isolamenti termoacustici in pannelli, su sottofondo in carta,della densita' di 100 kg/m³,con adeguata protezione di barriera al vapore	spessore mm 140	m²	22,85		333,54	7621,39
			01.A09.G50.005	Posa in opera di materiali per isolamento termico (lana di vetro o di roccia, polistirolo, poliuretano, materiali similari) sia in rotoli che in lastre di qualsiasi dimensione e spessore, compreso il carico, lo scarico, il trasporto e deposito a qualsiasi piano del fabbricato	Per superfici verticali o simili	m²	10,16	96,55%	333,54	3388,77
			01.P09.B11.040	Pannelli rigidi in lana di roccia della densita' di 70 kg/m³ e lamda inferiore a 0,035 W/mK. Per l'isolamento termo-acustico di pareti e solai e trattata con resine termoindurenti, euroclasse A1	spessore 100 mm	m²	5,68		340,21	1932,41
			03.A07.A01.005	Realizzazione di isolamento termico a cappotto con lastre di qualsiasi dimensione e spessore, compreso il carico, lo scarico, il trasporto e deposito a qualsiasi piano del fabbricato. Sono compresi inoltre gli oneri relativi a: incollaggio e/o tassellatura e sagomatura dei pannelli, rasatura, stesura di fissativo, applicazione del rasante a base di calce idraulica naturale steso con spatola d'acciaio, compresa la posa di rete d'armatura e di ogni altro onere necessario per dare l'opera finita a perfetta regola d'arte. (esclusa la fornitura dell'isolante)	Su superfici esterne verticali	m²	43,62	73,15%	340,21	14840,08
		Copertura	01.P09.B11.065	Pannelli rigidi in lana di roccia della densita' di 70 kg/m³ e lamda inferiore a 0,035 W/mK. Per l'isolamento termo-acustico di pareti e solai e trattata con resine termoindurenti, euroclasse A1	spessore 200 mm	m²	21,79		250,65	5461,56
		Solaio contro terra	01.A01.B10.031	Scavo di materiali di qualsiasi natura in ambito urbano, fino ad una profondita' massima di cm 60, compreso l'eventuale dissodamento e/o disfacimento della pavimentazione bituminosa, l'accumulo, il carico ed il trasporto alla discarica del materiale. per profondita' fino a	Cm 50 eseguito a macchina	m²	17,54	68,79%	208,53	3657,62
			01.A09.B00.005	Manto impermeabile in malta bituminosa dato in opera su sottofondo esistente	Dello spessore di mm 20	m²	25,58	86,30%	208,53	5334,24
			01.P09.A17.010	Argilla espansa	in sacchi	m³	58,28		41,71	2430,64
			01.A01.B90	Riempimento degli scavi in genere, eseguito con qualsiasi materiale, compresa la costipazione ogni 30 cm di spessore, esclusa la fornitura del materiale	Eseguito con idonei mezzi meccanici.	m³	6,59	68.48%	41,71	274,84
			01.A04.B05.020	Calcestruzzo confezionato in cantiere con kg 300 di cemento tipo 32,5 R, m³ 0,4 di sabbia e m³ 0,8 di ghiaietto, fornito in opera, da non impiegare per usi strutturali	Con betoniera	m^3	90,64	32.84%	20,85	1890,13
			01.A04.C03.010	Getto in opera di calcestruzzo cementizio eseguito direttamente da autobetoniera con apposita canaletta	In strutture di fondazione	m³	8,10	100,00%	20,85	168,91
			01.P09.B88.030	Provvista di pannelli rigidi in lana di roccia idrorepellente legata con resine termoindurenti,per isolamenti termoacustici, aventi densita'non inferiore a 150 kg/m³, elevata resistenza a compressione; lambda inferiore a 0,040 W/mK	spessore mm 100	m²	19,43		208,53	4051,77
			01.A09.G50.005	Posa in opera di materiali per isolamento termico (lana di vetro o di roccia, polistirolo, poliuretano, materiali similari) sia in rotoli che in lastre di qualsiasi dimensione e spessore, compreso il carico, lo scarico, il trasporto e deposito a qualsiasi piano del fabbricato	Per superfici in piano e simili	m²	6,54	100,00%	208,53	1363,80
			01.A11.A40.005	Sottofondo per pavimenti di spessore fino a cm 15 Formato con calcestruzzo cementizio avente resi-stenza caratteristica di kg/cm² di 150, per ogni cm di spessore e per superfici di almeno m² 0,20. Cm=	10	m²	3,46	81,67%	2085,32	7215,19
									TOT INVOLUCRO OPACO SOLUZIONE 2	103692,00

_Impianti

		Codice elemento	Descrizione elemento	Dettagli elemeto	U.M.	P.U.	Incidenza manodoper	Quantità	C.I. stimato
						[€]	[%]	[-]	[€]
Soluzione impianti 1	Caldaia a condensazione	05.A01.A01.015	Fornitura in opera di caldaia murale a condensazione di qualunque tipo, forma e dimensione completa di tutti gli accessori per garantire il corretto funzionamento, con accensione elettronica, controllo della fiamma a ionizzazione, pannello di comando della caldaia integrato, rendimento 4 stelle, classe NOx 5, con esclusione del solo raccordo fumario. Compresa la verifica circolazione idraulica, impostazione parametri di funzionamento, analisi della combustione, compilazione di libretto di centrale.	F.O. di caldaia murale a condensazione per riscaldamento, potenza al focolare fino a 34,9 kW	cad	2.075,56	0,11	1,00	2.075,56
								TOT. Caldaia a condensazione	**2.075,56**
	Chiller	05.P73.A90.005	Provvista e posa in opera gruppo refrigeratore d'acqua monoblocco con condensatori raffreddati ad aria multicompressori alternativi, completo di armadio metallico, ventilatori bilanciati, evaporatori ad espansione secca, circuiti frigoriferi, sicurezze, ecc.	Per potenzialita' fino a 10000 fr/h	cad	6.454,27		1,00	6.454,27
								Tot. Chiller	**6.454,27**
	Fan coil	05.P14.A05.005	Ventilconvettore di qualunque tipo, dimensione, a due o quattro tubi, completo di struttura portante in lamiera di acciaio zincato, mobiletto in lamiera verniciato, gruppo ventilante a piu' velocita', motore elettrico monofase 230 V-50hz, pannello comandi incorporato, batteria in rame-alluminio a due o tre ranghi, filtro aria rigenerabile, bacinella di raccogli condensa eventuale, accessori, dimensionati alla velocita' media	Sino a kW 2,5 (potenza termica)	cad	217,05		14,00	3.038,70
		05.P14.A05.010		Da kW 3 a kW 4 (potenza termica)	cad	251,60		6,00	1.509,60
								TOT. Fan Coil	**4.548,30**
	VMC	03.P16.A03.015	Sistemi di ventilazione meccanica controllata a recupero di calore. Recuperatore di calore aria-aria entalpico compatto, rendimento non inferiore all'80%, costituito da ventilatori di immissione ed espulsione aria a basso consumo alimentazione monofase, scambiatore di calore rotativo entalpico con recupero dell'umidità, sistema di controllo e regolazione della portata, filtri EU3.	Per portate aria pari a 550 m³/h	cad	3.358,75		1,00	3.358,75
		03.A15.A01.005	Posa in opera di recuperatore di calore aria-aria compatto, costituito da ventilatori di immissione ed espulsione aria a basso consumo alimentazione monofase, scambiatore di calore in controcorrente, sistema di controllo e regolazione della portata, filtri EU3, scarico condensa inclusi staffaggio a parete o a soffitto, collegamenti scarico condensa e canalizzazioni aria	Portata fino a m³/h 500	cad	196,11	1,00	1,00	196,11
		03.P16.A05.005	Sistemi di ventilazione meccanica controllata a recupero di calore. Accessori	Bocchetta in lamiera di acciaio zincata di mandata e ripresa aria complete di plenum portata 50 m³/h	cad	84,23		20,00	1.684,60
		03.P16.A05.010		Silenziatore/distributore	cad	223,91		1,00	223,91
		03.P16.A05.020		Torre di aspirazione aria esterna in acciaio inox portata max 500 m3/h	cad	1.725,31		1,00	1.725,31
								TOT. Vmc	**7.188,68**
								TOT. Soluzioni Impianti 1	**20.266,81**

		Codice elemento	Descrizione elemento	Dettagli elemeto	U.M.	P.U.	Incidenza manodoper	Quantità	C.I. stimato
						[€]	[%]	[-]	[€]
Soluzione impianti 2	Pompa di calore acqua di falda	03.P13.L04.015	Pompa di calore monoblocco acqua-acqua, per funzionamento con acqua di falda, alimentazione elettrica monofase o trifase, compressore rotativo scroll, COP nominale non inferiore a 4,4, gas refrigerante ecologico, per riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria, completa di centralina di regolazione e controllo a bordo	Potenza termica resa 25 kW	cad	9.823,38		1,00	9.823,38
		03.A12.F01.005	Posa in opera di pompa di calore monoblocco elettrica aria-acqua, acqua-acqua o acqua glicolata-acqua ad alta efficienza data funzionante in ogni sua parte, inclusi gli allacciamenti elettrici e idraulici, prove idrauliche, collaudi; eslcuso il sollevamento delle unità per il posizionamento a tetto o su coperture	Potenza termica resa da kW 10 a kW 40	cad	784,43	100%	1,00	784,43
		03.A12.F05.005	Pompe di calore. Provvista e posa in opera di sonda geotermica verticale, inclusi perforazione a rotazione a distruzione di nucleo in terreni di qualsiasi natura, posa tubazioni in polietilene HDPE con coppia di sonde ad U, cementazione del perforo mediante iniezione a pressione di malta cemento-bentonitica o altro materiale idoneo di elevata conducibilità termica eseguita a partire dal fondo foro fino a p.c., collaudo di flusso e di tenuta	Per metro di perforazione, diametro tubazione DN 32	m	73,52	51%	50,00	3.676,00
								TOT. Pompa di calore acqua di falda	**14.283,81**
	Fan coil	05.P14.A05.005	Ventilconvettore di qualunque tipo, dimensione, a due o quattro tubi, completo di struttura portante in lamiera di acciaio zincato, mobiletto in lamiera verniciato, gruppo ventilante a piu' velocita', motore	Sino a kW 2,5 (potenza termica)	cad	217,05		14,00	3.038,70
		05.P14.A05.010		Da kW 3 a kW 4 (potenza termica)	cad	251,60		6,00	1.509,60
								TOT. Fan Coil	**4.548,30**
	VMC	03.P16.A03.015	Sistemi di ventilazione meccanica controllata a recupero di calore. Recuperatore di calore aria-aria entalpico compatto, rendimento non inferiore all'80%, costituito da ventilatori di immissione ed espulsione aria a basso consumo alimentazione monofase, scambiatore di calore rotativo entalpico con recupero dell'umidità, sistema di controllo e regolazione della portata, filtri EU3.	Per portate aria pari a 550 m³/h	cad	3.358,75		1,00	3.358,75
		03.A15.A01.005	Posa in opera di recuperatore di calore aria-aria compatto, costituito da ventilatori di immissione ed espulsione aria a basso consumo alimentazione monofase, scambiatore di calore in controcorrente, sistema di controllo e regolazione della portata, filtri EU3, scarico condensa inclusi staffaggio a parete o a soffitto, collegamenti scarico condensa e canalizzazioni aria	Portata fino a m³/h 500	cad	196,11	1,00	1,00	196,11
		03.P16.A05.005	Sistemi di ventilazione meccanica controllata a recupero di calore. Accessori	Bocchetta in lamiera di acciaio zincata di mandata e ripresa aria complete di plenum portata 50 m³/h	cad	84,23		20,00	1.684,60
		03.P16.A05.010		Silenziatore/distributore	cad	223,91		1,00	223,91
		03.P16.A05.020		Torre di aspirazione aria esterna in acciaio inox portata max 500 m3/h	cad	1.725,31		1,00	1.725,31
								TOT. Vmc	**7.188,68**
								TOT. Soluzioni Impianti 2	**26.020,79**

		Codice elemento	Descrizione elemento	Dettagli elemeto	U.M.	P.U.	Incidenza manodoper	Quantità	C.I. stimato
						[€]	[%]	[-]	[€]
Soluzione risorse rinnovabili 1	Solare fotovoltaico	03.P14.A16.010	Sistema fotovoltaico per connessione in rete costituito da moduli in silicio cristallino, inverter, struttura di sostegno per tetti inclinati, esclusi cavi di connessione, quadri DC e AC con dispositivi di protezione ed interfaccia	Impianto parzialmente integrato complanare alla falda, potenza kWp 3	cad	6.030,60		1,00	6.030,60
		03.A13.A01.010	Posa in opera di moduli fotovoltaici a struttura rigida in silicio cristallino o amorfo, su struttura di sostegno modulare costituita da profilati in alluminio o acciaio, incluso cablaggio, escluso il nolo di cestello o altra attrezzatura per il trasporto su copertura	Su coperture inclinate, superficie installata fino a m² 100	m²	89,31	100	26,24	2.343,49
								TOT. Solare fotovoltaico	**8.374,09**
	Solare termico	03.P14.B01.005	Collettori solari vetrati piani con superficie di assorbimento selettiva, tubi in rame saldati, isolamento posteriore in polistirene o lana di vetro, vetro temperato alta trasparenza, certificato di qualità conforme UNI EN 12975	Con telaio metallico in alluminio o in lamiera d'acciaio, escluso il sistema di fissaggio	m²	146,44		11,50	1.684,06
		03.P14.B02.005	Struttura metallica di fissaggio dei collettori solari.	Su tetti inclinati, complanare alla falda, prezzo per metro quadro di collettore	m²	26,44		11,50	304,06
		03.A13.B01.010	Posa in opera di collettori solari piani o sottovuoto, fluido termovettore acqua o aria su struttura di sostegno costituita da profilati in alluminio o acciaio, inclusi i collegamenti idraulici tra collettori e il fissaggio della struttura su copertura, escluso il nolo di cestello o altra attrezzatura per il trasporto su	Installazione su coperture inclinate	m²	79,10	100	11,50	909,65
		03.P14.B08.005	Serbatoio di accumulo solare per acqua calda sanitaria con scambiatore interno ad un serpentino elevata superficie di scambio	Capacità litri 200	cad	516,53		1,00	516,53
		03.A13.B05.005	Posa in opera di serbatoi accumulo per impianti a collettori solari, inclusi allacciamenti idraulici ai circuiti solare, caldaia e idrosanitario	Capacità fino a 1000 litri	cad	392,22	100	1,00	392,22
								TOT. Solare termico	**3.806,52**
								TOT. Fonti rinnovabili 1	**12.180,61**
Soluzione risorse rinnovabili 2	Solare fotovoltaico	03.P14.A16.010	Sistema fotovoltaico per connessione in rete costituito da moduli in silicio cristallino, inverter, struttura di sostegno per tetti inclinati, esclusi cavi di connessione, quadri DC e AC con dispositivi di protezione ed interfaccia	Impianto parzialmente integrato complanare alla falda, potenza kWp 6	cad	12.064,79		1,00	12.064,79
		03.A13.A01.015	Posa in opera di moduli fotovoltaici a struttura rigida in silicio cristallino o amorfo, su struttura di sostegno modulare costituita da profilati in alluminio o acciaio, incluso cablaggio, escluso il nolo di cestello o altra attrezzatura per il trasporto su copertura	Su coperture inclinate, superficie installata fino a m² 100	m²	89,31	100	50,84	4.540,52
								TOT. Solare fotovoltaico	**16.605,31**
	Solare termico	03.P14.B01.005	Collettori solari vetrati piani con superficie di assorbimento selettiva, tubi in rame saldati, isolamento posteriore in polistirene o lana di vetro, vetro temperato alta trasparenza, certificato di qualità conforme UNI EN 12975	Con telaio metallico in alluminio o in lamiera d'acciaio, escluso il sistema di fissaggio	m²	146,44		11,50	1.684,06
		03.P14.B02.005	Struttura metallica di fissaggio dei collettori solari.	Su tetti inclinati, complanare alla falda, prezzo per metro quadro di collettore	m²	26,44		11,50	304,06
		03.A13.B01.010	Posa in opera di collettori solari piani o sottovuoto, fluido termovettore acqua o aria su struttura di sostegno costituita da profilati in alluminio o acciaio, inclusi i collegamenti idraulici tra collettori e il fissaggio della struttura su copertura, escluso il nolo di cestello o altra attrezzatura per il trasporto su	Installazione su coperture inclinate	m²	79,10	100	11,50	909,65
		03.P14.B08.005	Serbatoio di accumulo solare per acqua calda sanitaria con scambiatore interno ad un serpentino elevata superficie di scambio	Capacità litri 200	cad	516,53		1,00	516,53
		03.A13.B05.005	Posa in opera di serbatoi accumulo per impianti a collettori solari, inclusi allacciamenti idraulici ai circuiti solare, caldaia e idrosanitario	Capacità fino a 1000 litri	cad	392,22	100	1,00	392,22
								TOT. Solare termico	**3.806,52**
								TOT. Fonti rinnovabili 2	**20.411,83**

_Involucro trasparente

Livello energetico			Codice elemento	Descrizione elemento	Dettagli elemeto	U.M.	P.U.	Incidenza manodoper	Quantità da DB	C.I. stimato
							[€]	[%]	[-]	[€]
Allegato energetico Regione Piemonte	Involucro trasparente 1	Serramenti (finestre e porta finestre)	01.P20.B04.085	Vetrate isolanti tipo vetrocamera con basso emissivo; formate da due lastre di vetro, normale o stratificata, con interposta intercapedine d'aria o gas; complete di profilati distanziatori, giunti elastici, sali disidratanti etc.; i vetri antisfondamento sono costituiti da due lastre con interposta pellicola di polivinilbutirrale	4/15/4 magnetronico (B.E. 1 lastra)+Argon U= 1,1 W/m²K e Rw= c.a 30dB	m²	46,14		59,43	2742,00
			01.P20.B06.005	Variazione del prezzo per vetrate isolanti tipo vetro camera (01.P20.B04 e 01.P20.B05)	supplemento con gas argon 90%	m²	5,90		59,43	350,62
		Vetri Facciata Continua	01.P20.B04.105	Vetrate isolanti tipo vetrocamera con basso emissivo; formate da due lastre di vetro, normale o stratificata, con interposta intercapedine d'aria o gas; complete di profilati distanziatori, giunti elastici, sali disidratanti etc.; i vetri antisfondamento sono costituiti da due lastre con interposta pellicola di polivinilbutirrale	3+3/15/4 magnetronico (B.E. 1 lastra)+argon; U= 1,1 W/m²K e Rw= c.a 35dB	m²	70,08		187,64	13149,79
			01.P20.B06.005	Variazione del prezzo per vetrate isolanti tipo vetro camera (01.P20.B04 e 01.P20.B05)	supplemento con gas argon 90%	m²	5,90		187,64	1107,07
									TOT INVOLUCRO TRASPARENTE SOLUZIONE 1	17349,49
Standards Passivhaus	Involucro trasparente 2	Serramenti (finestre e porta finestre)	01.P20.B05.015	Vetrate isolanti tipo vetrocamera con basso emissivo; formate da tre lastre di vetro, normale o stratificata con interposta intercapedini d'aria o gas; complete di profilati distanziatori, giunti elastici, sali disidratanti etc.; i vetri antisfondamento sono costituiti da due lastre con interposta pellicola di polivinilbutirrale. (Per vetri con altre caratteristiche vedere 01.P20.B06)	4/12/4/12/4 (B.E. 2 lastre)+kripton; U= 0,5 W/m²K	m²	110,07		59,43	6541,21
			01.P20.B06.010	Variazione del prezzo per vetrate isolanti tipo vetro camera (01.P20.B04 e 01.P20.B05)	supplemento con gas kripton	m²	28,59		59,43	1699,04
		Vetri Facciata Continua	01.P20.B05.015	Vetrate isolanti tipo vetrocamera con basso emissivo; formate da tre lastre di vetro, normale o stratificata con interposta intercapedini d'aria o gas; complete di profilati distanziatori, giunti elastici, sali disidratanti etc.; i vetri antisfondamento sono costituiti da due lastre con interposta pellicola di polivinilbutirrale. (Per vetri con altre caratteristiche vedere 01.P20.B06)	4/12/4/12/4 (B.E. 2 lastre)+kripton; U= 0,5 W/m²K	m²	110,07		187,64	20653,51
			01.P20.B06.010	Variazione del prezzo per vetrate isolanti tipo vetro camera (01.P20.B04 e 01.P20.B05)	supplemento con gas kripton	m²	28,59		187,64	5364,62
									TOT INVOLUCRO TRASPARENTE SOLUZIONE 2	34258,38

Pacchetto soluzioni	Consumo gas naturale	Consumo gas naturale	Costo Gas Metano	Quota fissa gas	Costo tot Gas Metano	Cosumo energia elettrica	Produzione fotovoltaico	Cosumo energia elettrica netto	Costo energia elettrica	Quota fissa elettricità	Quota potenza elettricità	Costo energia elettrica tot	Costo annuale	Costo di eserzizio attualizzato
	[kWh]	[m^3]	[€/m^3]	[€/anno]	[€/anno]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[€/kWh]	[€/anno]	[€/anno]	[€/anno]	[€/anno]	[€]
1	9712,30	1027,76	0,44	91,28	543,38	13372,07	4017,79	9354,28	0,15	264,72	180,44	1884,15	2427,52	47355,68
2	8389,00	887,72	0,44	91,28	481,78	12566,66	4017,79	8548,87	0,15	264,72	180,44	1760,25	2242,03	43737,07
3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	16551,89	4017,79	12534,10	0,15	264,72	180,44	2373,31	2373,31	46298,02
4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15696,34	4017,79	11678,55	0,15	264,72	180,44	2241,70	2241,70	43730,57
5	9712,30	1027,76	0,44	91,28	543,38	13372,07	11888,24	1483,83	0,15	264,72	180,44	673,42	1216,80	23737,07
6	8389,00	887,72	0,44	91,28	481,78	12566,66	11888,24	678,42	0,15	264,72	180,44	549,52	1031,30	20118,45
7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	16551,89	11888,24	4663,65	0,15	264,72	180,44	1162,58	1162,58	22679,40
8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15696,34	11888,24	3808,10	0,15	264,72	180,44	1030,97	1030,97	20111,96
9	8013,24	847,96	0,44	91,28	464,29	12597,36	4017,79	8579,57	0,15	264,72	180,44	1764,97	2229,26	43487,98
10	6779,05	717,36	0,44	91,28	406,84	11923,89	4017,79	7906,10	0,15	264,72	180,44	1661,37	2068,21	40346,22
11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15462,71	4017,79	11444,92	0,15	264,72	180,44	2205,76	2205,76	43029,47
12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	14602,14	4017,79	10584,35	0,15	264,72	180,44	2073,37	2073,37	40446,96
13	8013,24	847,96	0,44	91,28	464,29	12597,36	11888,24	709,12	0,15	264,72	180,44	554,25	1018,53	19869,36
14	6779,05	717,36	0,44	91,28	406,84	11923,89	11888,24	35,65	0,15	264,72	180,44	450,65	857,48	16727,61
15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15462,71	11888,24	3574,47	0,15	264,72	180,44	995,03	995,03	19410,85
16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	14602,14	11888,24	2713,90	0,15	264,72	180,44	862,65	862,65	16828,34

_COSTI DI MANUTENZIONE E SOSTITUZIONE

Pacchetto impianti	Componente	Costo iniziale	Vita utile	Incidenza annuale costi di manutenzione	Costi di manutenzione annuali	Costi totali di manutenzione attualizzati	Costo di sostituzione attualizzato	Costo totale
si1	Caldaia a condensazione	2.075,56 €	20	2,00%	41,51 €	809,79 €	1.053,24 €	
	Fan coil	4.548,30 €	15	4,00%	181,93 €	3.549,09 €	2.734,59 €	
	vmc	7.188,68 €	20	6,00%	431,32 €	8.414,12 €	3.647,87 €	
	chiller	6.454,27 €	20	2,00%	129,09 €	2.518,17 €	3.275,20 €	
								26.002,07 €
si2	pompa di calore	14.283,81 €	20	3,00%	428,51 €	8.359,37 €	7.248,27 €	
	fan coil	4.548,30 €	15	4,00%	181,93 €	3.549,09 €	2.734,59 €	
	vmc	7.188,68 €	20	6,00%	431,32 €	8.414,12 €	3.647,87 €	
								33.953,31 €
so1	solare termico	3.806,52 €	25	0,50%	19,03 €	371,28 €	1.630,29 €	
	fotovoltaico	8.374,09 €	25	1,00%	83,74 €	1.633,60 €	3.586,54 €	
								7.221,72 €
so2	solare termico	3.806,52 €	25	0,50%	19,03 €	371,28 €	1.630,29 €	
	fotovoltaico	16.605,31 €	25	1,00%	166,05 €	3.239,33 €	7.111,88 €	
								12.352,79 €

_VALORE RESIDUO

Pacchetto impianti	Componente	Costo iniziale	Vita utile	Annualità residue	Ammortamento annuo	Valore residuo attualizzato
si1	Caldaia a condensazione	2.075,56 €	20	10	103,78 €	362,63 €
	Chiller	6.454,27 €	20	10	322,71 €	1.127,64 €
	Fan coil	4.548,30 €	15	0	303,22 €	- €
	vmc	7.188,68 €	20	10	359,43 €	1.255,95 €
						2.746,22 €
si2	Pompa di calore a-a	14.283,81 €	20	10	714,19 €	2.495,56 €
	Fan coil	4.548,30 €	15	0	303,22 €	- €
	vmc	7.188,68 €	20	10	359,43 €	1.255,95 €
						3.751,52 €
so1	solare termico	3.806,52 €	25	20	152,26 €	1.064,08 €
	fotovoltaico	8.374,09 €	25	20	334,96 €	2.340,90 €
						3.404,97 €
so2	solare termico	3.806,52 €	25	20	152,26 €	1.064,08 €
	fotovoltaico	16.605,31 €	25	20	664,21 €	4.641,86 €
						5.705,93 €