

# L'innovazione per la progettazione sostenibile

a cura di  
Renata Morbiducci







*Responsabile collana*

Christiano Lepratti  
(*Università di Genova*)

Renata Morbiducci  
(*Università di Genova*)

*Comitato scientifico*

Carmen Andriani  
(*Università di Genova*)

Thomas Auer  
(*Technische Universitaet Muenchen, Germania*)

Umberto Berardi  
(*Ryerson University, Toronto, Canada*)

Enrico Dassori  
(*Università di Genova*)

Andrea Giachetta  
(*Università di Genova*)

Marylís Nepomechie  
(*Florida International University - Miami, USA*)

Thomas Spiegelhalter  
(*Florida International University - Miami, USA*)

# L'innovazione per la progettazione sostenibile

a cura di  
Renata Morbiducci

con i contributi di  
Clara Vite,  
Salvatore Polverino,  
Vittoria Bonini



*è il marchio editoriale dell'Università di Genova*



Per la realizzazione del capitolo 3, Salvatore Polverino ringrazia il Programma operativo nazionale (PON) «Ricerca e Innovazione 2014-2020» Azione IV.6 «Contratti di ricerca su tematiche Green» in quanto RTD-A (DM1062/2021, CUP D31B21008360007 – progetto «Sistemi costruttivi a base di materiali bidimensionali per un comportamento efficiente e resiliente delle costruzioni» SC 08/C1, SSD ICAR/10) presso il Dipartimento Architettura e Design dell'Università di Genova.

© 2023 GUP

I contenuti del presente volume sono pubblicati con la licenza  
Creative commons 4.0 International Attribution-NonCommercial-ShareAlike.



Alcuni diritti sono riservati

e-ISBN (pdf) 978-88-3618-232-9

Pubblicato ad agosto 2023

Realizzazione Editoriale

**GENOVA UNIVERSITY PRESS**

Via Balbi, 6 – 16126 Genova

Tel. 010 20951558 – Fax 010 20951552

e-mail: [gup@unige.it](mailto:gup@unige.it)

<https://gup.unige.it>

# INDICE

## **Parte I Innovazione e sostenibilità**

1. Introduzione 9  
*Renata Morbiducci*
2. Strumenti e normative per la valutazione delle sostenibilità 19  
*Clara Vite*
3. Materiali innovativi per il progetto sostenibile 40  
*Salvatore Polverino*
4. Sul disegno tecnico: progetto e costruzione 66  
*Vittoria Bonini*

## **Parte II Esempi di applicazioni nella didattica**

1. Introduzione 84  
*Renata Morbiducci*
2. Edificio di nuova costruzione 89  
*Salvatore Polverino, Vittoria Bonini, Clara Vite,  
Renata Morbiducci*
3. Edificio esistente 116  
*Clara Vite, Renata Morbiducci*
4. Intervento sul costruito. Un complesso residenziale 145  
*Clara Vite, Renata Morbiducci*
5. Intervento sul costruito. Un quartiere storico: la Maddalena 179  
*Vittoria Bonini, Salvatore Polverino, Renata Morbiducci*

### **3. Edificio esistente**

*Clara Vite, Renata Morbiducci*

#### **3.1 Introduzione del caso presentato**

Il secondo caso studio riguarda l'esempio di un edificio singolo destinato a scuola. Nello specifico è stato scelto lo studio realizzato sulla Villa Masnata, succursale della Scuola Secondaria Nicolò Barabino situata a Genova Sampierdarena. Il lavoro è stato realizzato nell'a.a. 2015-2016 durante il Laboratorio del Corso di Architettura e Ambiente nell'ambito del Corso di Laurea in Ingegneria Edile-Architettura.

Docente: Clara Vite

Studenti: Berrino Paola, D'Amico Giulia, Mortola Emanuele Aldo,  
Muscarella Elena, Sorce Beatrice.

#### **3.2 Stato di fatto**

L'edificio oggetto dello studio è una villa situata nel Comune di Genova che è stata commissionata nel 1613 dal nobile Paolo Maria Serra all'architetto Bartolomeo Bianco al fine di creare un palazzo di grande magnificenza e facile raggiungibilità, agibile sia d'estate come villeggiatura che d'inverno come fuga dallo stress cittadino.

Da una carta incisa nel 1708 la villa risulta priva delle ali laterali mentre in una successiva, datata 1757, compare la terrazza di ponente,



### 3. Edificio esistente



Fig. 1 – Inquadramento del caso studio.



Fig. 2 – Vista d'insieme del caso studio.

che sarà poi abbassata durante il restauro comunale con la contemporanea erezione della controlaterale a levante.

Tra il 1740 e il 1750, la villa divenne proprietà della famiglia Doria e in quel periodo vi soggiornò il marchese Antonio Botta Adorno, generale degli austriaci, essendo l'edificio luogo ben difendibile e adatto ad ospitare i soldati.

La villa rimase di proprietà dei Doria fino ai primi anni dell'Ottocento quando subentrò il nobile Giuseppe Masnata, da cui deriva il nome attuale del palazzo. Egli accettò la proposta del sindaco di farne il primo ospedale cittadino.

Il padiglione della villa venne destinato alla chirurgia, al secondo piano si trovavano invece le sale di medicina, mentre i sotterranei erano occupati dalle cucine. Fu necessaria un'importante opera di ristrutturazione, durante la quale l'ala a terrazzo, posta a ponente, fu abbassata; sulla facciata fu dipinto, sopra al portone d'ingresso, lo stemma della città di San Pier d'Arena, e nell'interno, per la destinazione a reparti, scomparve la cappella privata. Nel 1934 la Soprintendenza alle Belle Arti pose vincolo e tutela sull'immobile. Nel 1935 il piano nobile fu occupato dalla Biblioteca comunale. Nelle altre stanze aveva trovato collocazione, a partire dal 1933, il regio Liceo classico intitolato a G. Mazzini. Per esigenze di spazio e di prestigio, la dirigenza del Liceo nel 1939 riuscì a far traslocare di nuovo la biblioteca ed occupare interamente lo stabile.

Nel 1957 il palazzo tornò in mano al Comune, e divenne, oltre che la sede del Liceo classico Mazzini, anche quella di un asilo ed infine di una succursale della scuola media statale di 1° grado Nicolò Barabino.

### **3.2.1 Caratteristiche/scelte ambientali**

La Villa Masnata si trova, in linea d'aria, a 600 m dal mare e a 300 m dalla collina Belvedere di Sampierdarena; la sua altezza sul livello del mare è di 10 m.

L'edificio si trova in un ambiente urbanizzato ed è delimitato a Nord da un lotto verde, a Ovest da un edificio poggianti sulla facciata,

### 3. Edificio esistente

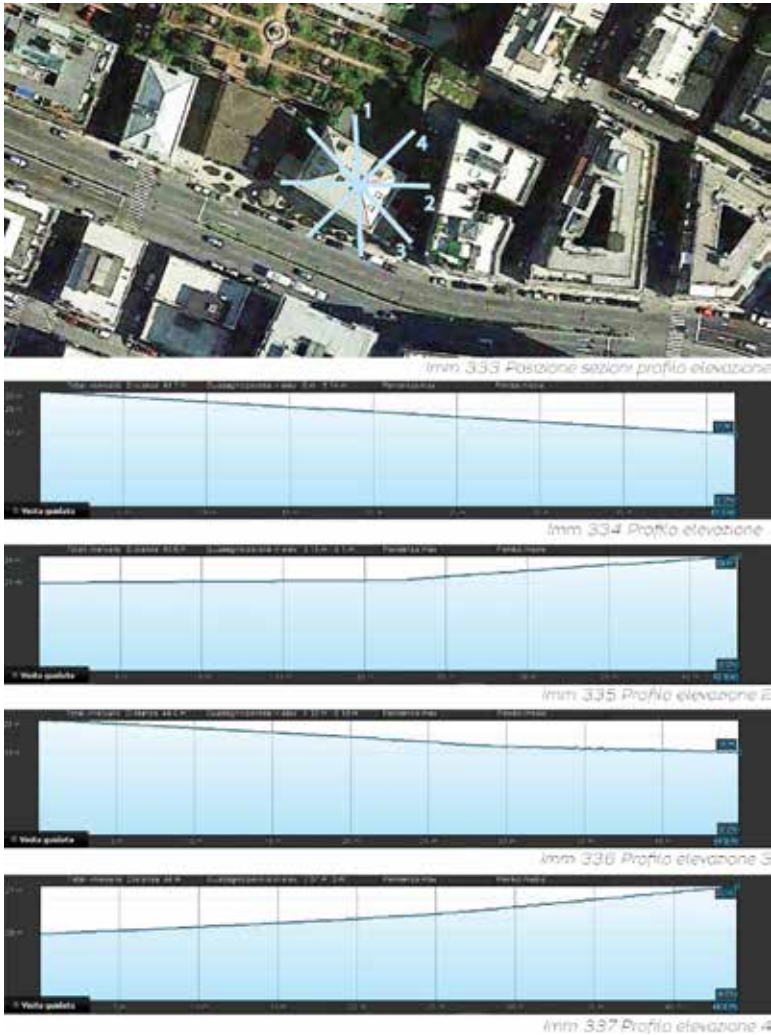


Fig. 3 – Studio del profilo altimetrico del sito in cui si trova il caso studio.

ad Est da una piccola stradina che lo divide da un ulteriore edificio e, a Sud si affaccia su Via Cantore, un'arteria principale del tessuto urbano.

La zona non presenta una significativa pendenza, come si può constatare dall'andamento altimetrico del terreno (Fig. 3).

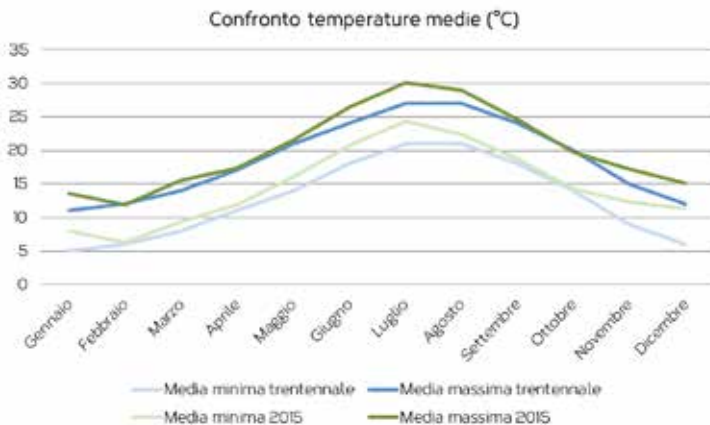


Fig. 4 – Grafico delle temperature medie del sito.

I fattori fondamentali che condizionano il clima della città di Genova sono l'immediato ed esteso contatto con un mare aperto e profondo, l'esposizione a mezzogiorno e la presenza di una catena montuosa a protezione dai venti settentrionali. Secondo la classificazione di Köppen, l'Italia è compresa nella macro-zona climatica temperata C. Fattori peculiari di tale zona sono le precipitazioni del mese estivo più secco inferiori a 30 mm e la temperatura media del mese più caldo superiori a 22 °C.

All'interno di tale quadro generale che pare assimilare i climi di Genova a quelli di tante altre città italiane, sono tuttavia presenti alcuni fattori peculiari che, seppur sporadici e di limitata estensione spazio/temporale, caratterizzano fortemente la meteorologia della città, arrivando talvolta a condizionare le attività dell'uomo. Fra tali fattori spicca la distribuzione delle precipitazioni e le temperature più basse dell'anno si verificano sempre in giornate con forti venti settentrionali.

Sulla base della suddivisione nazionale realizzata in funzione dei gradi-giorno (GG) e riportata nel DPR 412/93, il comune di Genova appartiene alla fascia D con 1435 GG.

È stato poi condotto uno studio di dettaglio, analizzando i valori medi annuali e trentennali delle caratteristiche climatiche proprie del sito di cui si riportano in seguito dei grafici di sintesi.

### 3. Edificio esistente

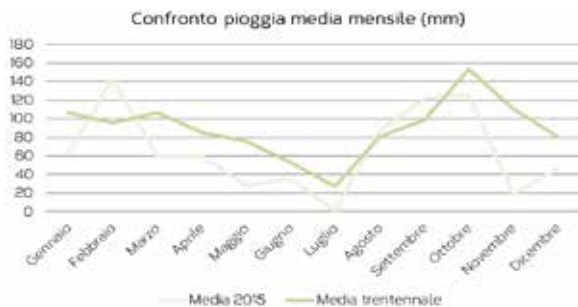


Fig. 5 – Grafico delle precipitazioni medie del sito.

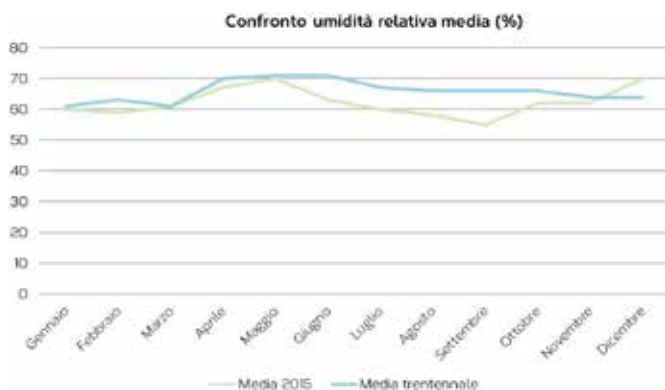


Fig. 6 – Grafico dell'umidità media del sito.



Fig. 7 – Grafico del regime dei venti annuale del sito.

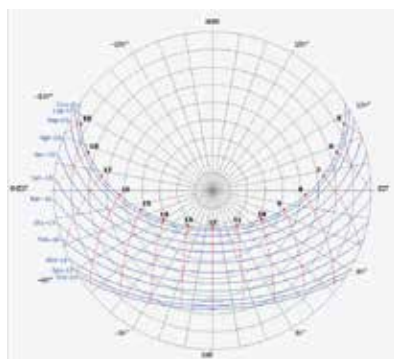


Fig. 8 – Diagramma solare polare del sito.

### 3.2.2 Caratteristiche/scelte tipologiche

Dopo aver studiato le caratteristiche ambientali del sito nel quale si trova il caso studio, si è passati all'analisi delle caratteristiche tipologiche di cui si riporta una sintesi qui di seguito.

#### *Orientamento*

È stato utilizzato il sito web [www.solaritaly.enea.it](http://www.solaritaly.enea.it) sviluppato da ENEA contenente l'Atlante italiano della radiazione solare per studiare il rapporto dell'orientamento dell'edificio in relazione al sole. All'interno del sito sono disponibili alcuni strumenti di calcolo che permettono di analizzare la radiazione solare in relazione ai diversi orientamenti e inclinazioni delle superfici captanti. I dati necessari per tutti gli strumenti di calcolo presenti sul sito sono:

- latitudine e longitudine;
- azimut, angolo di elevazione del sole;
- albedo, coefficiente di riflessione;
- inclinazione rispetto al piano orizzontale, nel caso di superfici verticali.

Attraverso queste informazioni è stato possibile studiare l'irraggiamento solare sulla copertura (Fig. 9) e sui quattro prospetti (Fig. 10). È stato poi impiegato anche il *software* Autodesk Revit per realizzare lo studio dell'irraggiamento solare sul modello 3D (Fig. 11).



Fig. 9 – Radiazione solare sulla superficie di copertura.

### 3. Edificio esistente

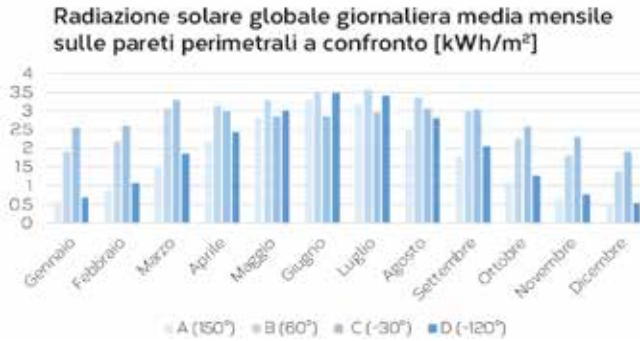


Fig. 10 – Radiazione solare sui prospetti.

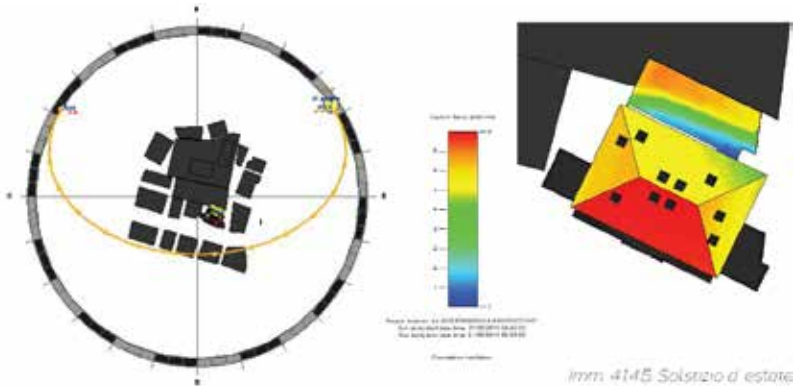


Fig. 11 – Studio dell'irraggiamento solare realizzato con Autodesk Revit.

Un altro aspetto per valutare l'orientamento è quello di studiarne la relazione con il regime del vento. Per fare questa analisi è stato utilizzato il modello Revit sul programma «Flow Design» che permette di generare una galleria del vento virtuale. È necessario inserire il modello 3D comprensivo del contesto che circonda l'edificio e impostare la direzione e la velocità del vento prevalente che risultano essere Nord-Est e 4,1 m/s.

Dalla simulazione si può osservare il flusso di vento che interessa l'intorno dell'edificio in esame e i differenti colori indicano la velocità e la pressione che il vento esercita sulle superfici (Fig. 12).

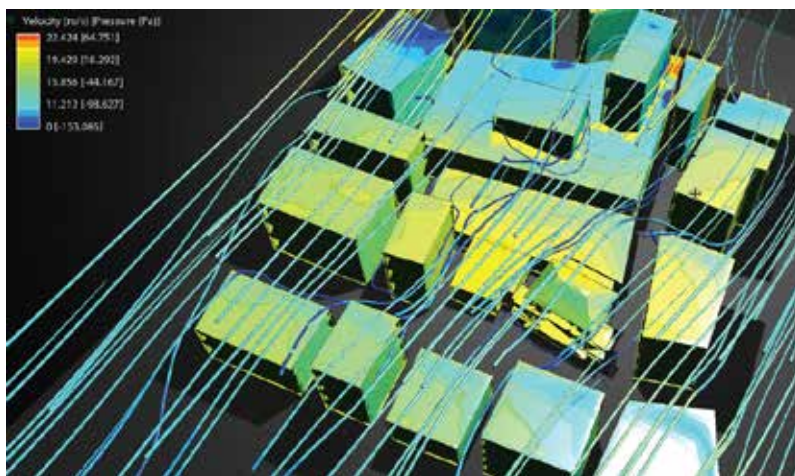
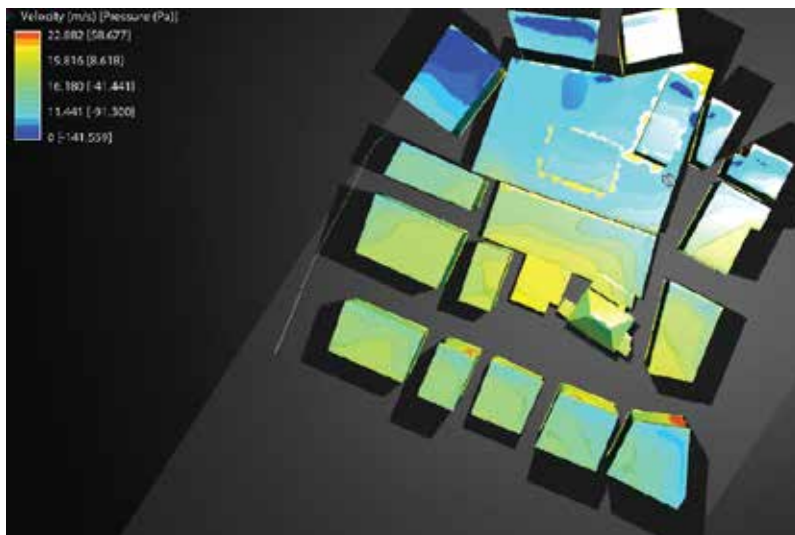


Fig. 12 – Immagini dello studio del vento realizzato con Flow Design.

Si può notare come il vento si incanali tra gli edifici retrostanti la scuola, andandola a colpire perpendicolarmente alla sua facciata Nord-Est, e creando delle criticità nella zona immediatamente ad Ovest.



### *Distribuzione spazi interni*

La distribuzione delle diverse funzioni e dei relativi spazi d'uso influisce significativamente sulla condizione di comfort abitativo. È utile quindi lo studio della distribuzione interna per valutare se è possibile ottimizzare e sfruttare al meglio gli apporti di calore invernale, il raffrescamento naturale estivo e lo sfruttamento della luce naturale diurna.

A seconda delle zone climatiche sono suggerite diverse soluzioni e, per gli edifici situati nelle zone temperate, come quella in esame, è ottimale che i locali in cui si svolgono la maggior parte delle attività siano verso Sud, mentre a Nord i locali di servizio e di limitata permanenza, e ad Est, Ovest e centro le zone di filtro.

Con tale logica è stato analizzato il caso studio e di seguito vengono riportate le funzioni d'uso divise per piano e i relativi elaborati grafici esplicativi:

- nel seminterrato sono presenti tutti locali in disuso (Fig. 13);
- il piano primo è caratterizzato da un atrio centrale a doppia altezza con annesso un locale adibito ad ufficio e poi vi è la sala professori; i locali di servizio sono collocati a Nord-Est e ad Ovest vicino al vano scala, a Nord-Ovest la palestra; i vani restanti sono aule didattiche (Fig. 14);
- nella pianta del primo ammezzato vi è al centro un vuoto sul vano sottostante al piano primo e Nord-Ovest proseguono le scale (Fig. 15);
- al piano secondo si trova la biblioteca centrale in corrispondenza dell'atrio del primo piano e le aule studio intorno (Fig. 16);
- nell'interpiano sono situati i servizi (Fig. 17);
- nel secondo ammezzato e sottotetto vi sono solo aule e i servizi a Nord-Ovest (Fig. 18).

### *Rapporto S/V*

Il rapporto tra superficie disperdente (S) e volume della costruzione (V) è un parametro che quantifica la compattezza dell'edificio. A parità di altre caratteristiche, tanto più è basso tale valore tanto più la costruzione risulta compatta e dunque più efficiente dal punto di vista energetico.

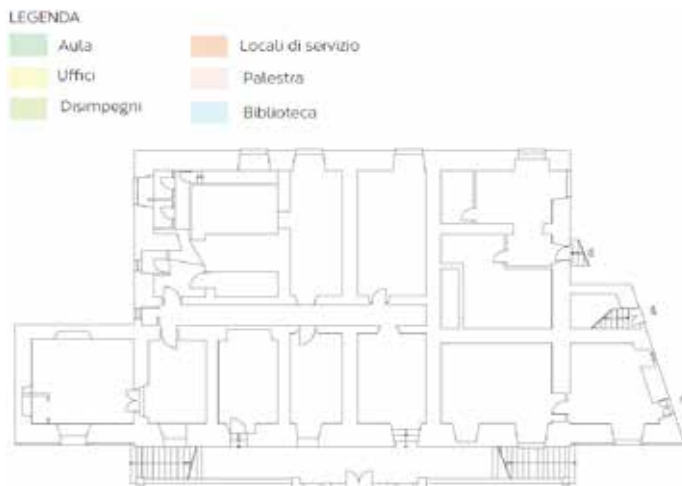


Fig. 13 – Pianta del seminterrato.

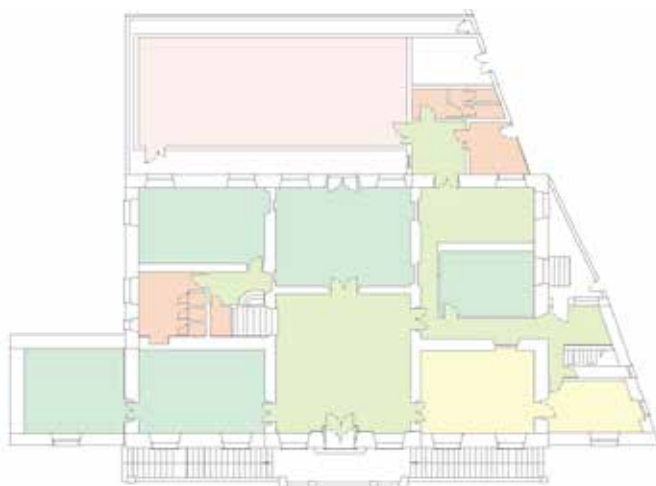


Fig. 14 – Pianta del piano primo.

### 3. Edificio esistente



Fig. 15 – Pianta del piano ammezzato.

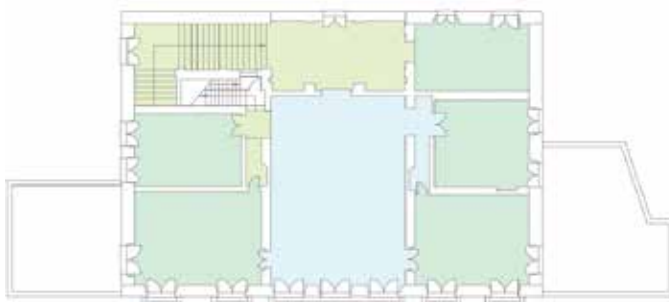


Fig. 16 – Pianta del piano secondo.



Fig. 17 – Pianta dell'interpiano.

Fig. 18 – Pianta del piano ammezzato e sottotetto.

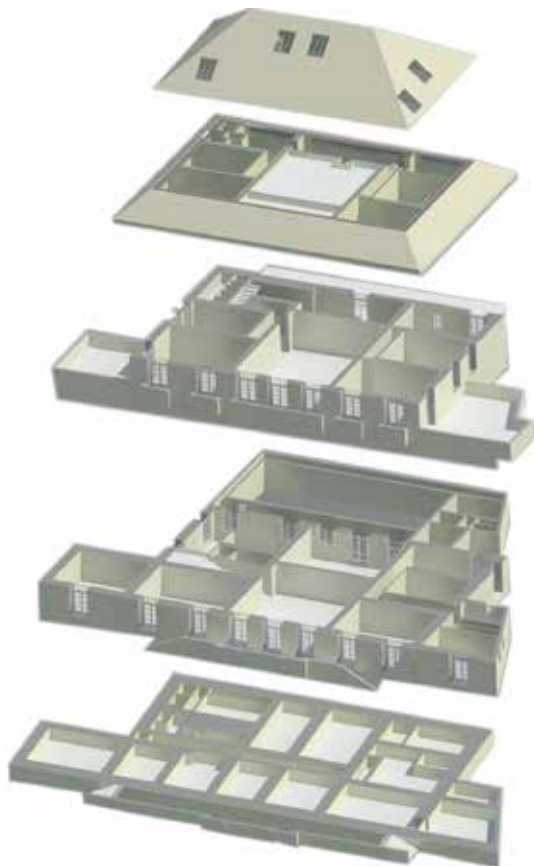


Fig. 19 – Esploso 3D dell'edificio.

È stato dunque studiato il rapporto  $S/V$  della costruzione per definirne il grado di compattezza ed è risultato che tale valore è pari a 0,42 (Tab. 1).

VOLUME LORDO (V)	8530,51 m <sup>3</sup>
SUPERFICIE DISPONENTE (S)	3607,28 m <sup>2</sup>
$S/V$	0,422

Tab. 1 – Sintesi del calcolo del rapporto  $S/V$  dell'Edificio.

*Percentuale di superfici trasparenti e la loro posizione*

Un altro parametro importante da studiare per quanto riguarda l'aspetto tipologico dell'edificio sono le superfici trasparenti. L'irraggiamento solare e le prestazioni igrotermiche di una superficie trasparente hanno caratteristiche molto diverse rispetto a quelle di una corrispondente superficie opaca. Le superfici trasparenti sono elementi dell'involucro edilizio che hanno un rilevante peso per quanto riguarda il guadagno diretto di calore invernale, per il controllo di surriscaldamento estivo e per l'ottimizzazione degli apporti di luce naturale. Anche per questa caratteristica a seconda delle differenti zone climatiche vi sono diverse percentuali e posizioni ottimali delle superfici trasparenti. Per la zona nella quale si trova l'edificio si suggerisce che le parti trasparenti siano il 10% dell'involucro edilizio esposto a Nord, il 30-40% di quello a Sud e il 15-25% di quelli esposti a Est e Ovest. È stato studiato lo stato di fatto dell'edificio oggetto dello studio al fine di valutare tali percentuali e comprendere quanto esse si avvicinino o meno all'ottimo (Tab. 2).

	N-E	S-E	S-O	N-O	Orizzontali	Area Totale (m <sup>2</sup> )
N° serramenti	21	9	24	20	12	
Area superfici trasparenti (m <sup>2</sup> )	53,01	27,56	107,89	38,24	32,63	259,33
Area superfici disperdenti (m <sup>2</sup> )	600,41	394,39	554,69	310,72	506,17	2266,38
% superfici trasparenti	8,83%	9,36%	19,45%	12,31%	6,45%	

Tab. 2 - Sintesi del calcolo della percentuale delle superfici trasparenti dell'edificio per orientamento.

**3.2.3 Caratteristiche/scelte di dettaglio**

L'analisi delle caratteristiche di dettaglio consente di studiare le tecniche costruttive e i materiali che costituiscono la costruzione e di determinarne le relative prestazioni. Nello specifico, ci si è concentrati sulle prestazioni energetiche dell'involucro edilizio e dell'intera costruzione.

Al fine di identificare gli elementi dell'involucro edilizio che racchiudono il volume riscaldato sono state individuate le zone termiche e le zone non riscaldate dell'edificio.

L'intero edificio è riscaldato e può essere considerato un'unica zona termica mentre vi sono due zone non riscaldate, al piano seminterrato e il primo piano ammezzato, destinate ai servizi e magazzini.

Sono stati analizzati nel dettaglio gli elementi dell'involucro edilizio e si riportano in seguito la descrizione di quelli opachi e trasparenti, evidenziando le dimensioni, i materiali di cui sono composti e le relative prestazioni energetiche (Figg. 20-21-22).

Le dimensioni di ciascun elemento dell'involucro sono state individuate attraverso la documentazione fornita dalla pubblica amministrazione e poi verificate grazie al sopralluogo.

I materiali degli elementi opachi verticali e orizzontali sono stati supposti secondo valutazioni in rapporto alle tecniche costruttive dell'anno di costruzione della scuola. La stratigrafia della muratura si è potuta verificare durante il sopralluogo al piano seminterrato, in corrispondenza di una parziale demolizione del muro.

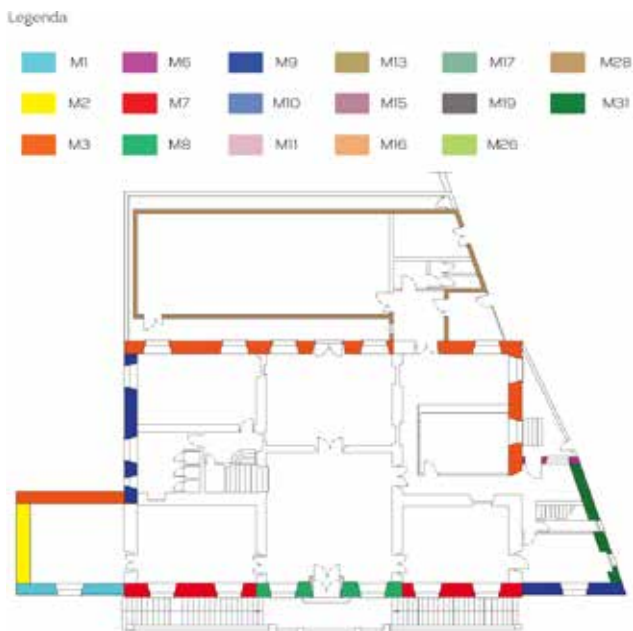


Fig. 20 – Individuazione dei diversi tipi di muratura dell'involucro opaco al Piano Primo.

### 3. Edificio esistente



Fig. 21 – Individuazione dei diversi tipi di muratura dell'involucro opaco al Piano Ammezzato.

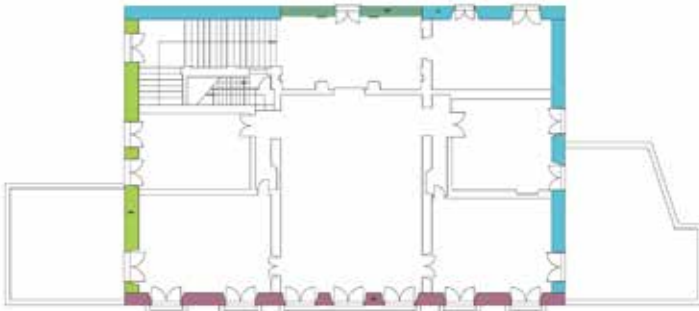


Fig. 22 – Individuazione dei diversi tipi di muratura dell'involucro opaco al Piano Secondo.



Fig. 23 – Individuazione dei diversi tipi di muratura dell'involucro opaco al Piano Secondo Ammezzato e Sottotetto.

A titolo esemplificativo si riporta la muratura identificata col codice M3 che costituisce la maggior parte degli elementi opachi verticali del primo piano (Fig. 24).

M3 TAMPONAMENTO PESANTE OPACO



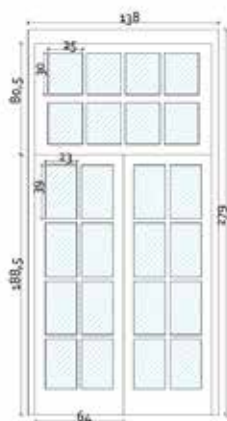
CARATTERISTICHE MATERIALI							
	S [m]	M <sub>v</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]	M <sub>s</sub> [kg/m <sup>2</sup> ]	h [W/mK]	R [m <sup>2</sup> K/W]	c [J/kgK]	u [-]
Superficie esterna					0.04		
RIVESTIMENTO ESTERNO Intonaco di cemento e sabbia	0.02	1800	36	0.9	0.022	1000	1
MASSIVO Muratura mista (pietra- laterizio)	0.80	1500	1200	0.9	0.889	1000	1
RIVESTIMENTO INTERNO Intonaco di cemento e sabbia	0.02	1400	28	0.7	0.029	1000	1
Superficie interna					0.130		
PARAMETRI STAZIONARI				PARAMETRI DINAMICI			
Spessore totale [m]	0.84		Capacità termica interna [kJ/m <sup>2</sup> K]	62.30			
Massa superficiale totale [kg/m <sup>2</sup> ]	1264		Capacità termica esterna [kJ/m <sup>2</sup> K]	106.60			
Resistenza totale [m <sup>2</sup> K/W]	1.11						
PRESTAZIONI TERMICHE							
Trasmittanza [W/m <sup>2</sup> K]				0.901			
Trasmittanza periodica [W/m <sup>2</sup> K]				0.01			

Fig. 24 – Dettaglio della stratigrafia opaca verticale M3.



### 3. Edificio esistente

F20: FINESTRA A DOPPIA ANTA CON VETROCAMERA



CARATTERISTICHE GENERALI		CARATTERISTICHE DIMENSIONALI	
Finestra in PVC 138x279 cm con due ante apribili e una fissa in alto		Area serramento [m <sup>2</sup> ]	3.85
Localizzazione	Secondo piano lato S-E	Area telaio [m <sup>2</sup> ]	1.81
Numero ante	2	Giunto vetro-telaio [m]	28.64
Sistema di apertura	Battente	Fattore telaio [-]	0.53
<b>VETRO</b>		<b>SISTEMA OSCURANTE</b>	
Numero lastre di vetro	2	Tipologia	-
Spessore [mm]	4+20+4	Posizione	-
Gas nell'intercapedine	Aria	Trasmissione media	-
<b>TELAIO</b>		Fattore di riduzione [-]	-
Tipologia	Profilo vuoto con cinque camere cave		
<b>CARATTERISTICHE PRESTAZIONALI</b>			
Trasmittanza U <sub>g</sub> [W/m <sup>2</sup> K]	2.7	Trasmittanza U <sub>w</sub> [W/m <sup>2</sup> K]	2.29
Trasmittanza U <sub>f</sub> [W/m <sup>2</sup> K]	1.2	Trasmittanza energia solare per incidenza normale g [-]	0.75
Emissività [-]	0.84		

Fig. 25 – Dettaglio del serramento F20.

Sono stati individuati 41 tipi di serramenti con caratteristiche materiche e dimensionali diverse che sono raggruppabili in 3 tipologie:

- serramenti in PVC con doppio vetro trasparente o satinato di recente sostituzione prive di sistemi di oscuramento interno ed esterno;

- serramenti in metallo con vetro singolo retinato, localizzati sulla copertura inclinata, alcuni dei quali presentano tende bianche come sistema di ombreggiamento;
- serramenti in alluminio con vetro singolo trasparente o satinato, nel locale antistante la palestra e all'interno della palestra.

Analogamente si riporta a titolo esemplificativo un serramento identificato col codice F20 con le relative caratteristiche e prestazioni (Fig. 25).

Dopo aver raccolto tutte le informazioni dello stato di fatto dell'edificio si è proseguito per la determinazione e analisi del fabbisogno energetico dell'edificio sia in regime invernale che in quello estivo. Lo studio è stato condotto precedentemente all'introduzione dei nuovi DM del 2015 e pertanto è stato fatto con i riferimenti normativi vigenti al momento dello studio, nello specifico il Regolamento Regionale n°6 Liguria del 13 novembre 2012.

Per determinare la classe energetica in regime invernale dell'edificio preso in esame è necessario trovare i valori limite dell'indice di prestazione energetica valore di  $EP_{Lim}$  che ne definisce i limiti. Il valore di  $EP_{Lim}$  è espresso nella tabella C.2 del Regolamento Regionale n°6 Liguria del 13 Novembre 2012. La tabella, riferita agli edifici di Classe E7 di tipo scolastico o comunque non residenziali, fornisce il valore di  $EP_{Lim}$  in relazione ai Gradi Giorno e al rapporto S/V (Tab. 3).

	A+ <	0.23 * $EP_{Lim}$		A+ <	2.24
0.23 * $EP_{Lim}$	< A <	0.45 * $EP_{Lim}$	2.24	< A <	4.38
0.45 * $EP_{Lim}$	< B <	0.65 * $EP_{Lim}$	4.38	< B <	6.32
0.65 * $EP_{Lim}$	< C <	0.85 * $EP_{Lim}$	6.32	< C <	8.27
0.85 * $EP_{Lim}$	< D <	1.00 * $EP_{Lim}$	8.27	< D <	9.73
1.00 * $EP_{Lim}$	< E <	1.50 * $EP_{Lim}$	9.73	< E <	14.59
1.50 * $EP_{Lim}$	< F <	2.00 * $EP_{Lim}$	14.59	< F <	19.46
2.00 * $EP_{Lim}$	< G		19.46	< G	

Tab. 3 – Classificazione dell'edificio sulla base del valore dell' $EP_{Lim}$  determinata utilizzando il rapporto S/V e i GG.

L'analisi della prestazione energetica dell'edificio ci ha portati a determinare l'indice di prestazione energetica invernale dell'involucro pari a  $EP_{i,inv} = 31.65 \text{ kWh/m}^3\text{anno}$ , pertanto, sulla base della tabella riportata in Fig. 26 l'edificio risulta appartenere alla Classe Energetica G. Per conoscere le prestazioni energetiche dell'edificio in regime estivo si è fatto riferimento al il D.M. 26/6/2009 Capitolo 6.1, metodo basato sulla determinazione dell'indice di prestazione termica dell'edificio per il raffrescamento. Questo metodo tiene conto del  $EP_{e,inv}$ , espresso in  $\text{kWh/m}^2\text{anno}$  e pari al rapporto tra il fabbisogno di energia termica per il raffrescamento dell'edificio e la superficie calpestabile del volume climatizzato, per determinare la categoria da I a V della qualità prestazionale del fabbricato (Tab. 4).

$EP_{e,inv}$ [ $\text{kWh/m}^2\text{anno}$ ]	Prestazioni	Qualità prestazionali
$EP_{e,inv} < 10$	Ottime	I
$10 \leq EP_{e,inv} < 20$	Buone	II
$20 \leq EP_{e,inv} < 30$	Medie	III
$30 \leq EP_{e,inv} < 40$	Sufficienti	IV
$EP_{e,inv} \geq 40$	Mediocri	V

Tab. 4 – Classificazione della prestazione estiva dell'involucro edilizio.

Essendo  $EP_{e,inv} = 15,74 \text{ kWh/m}^2\text{anno}$ , la scuola risulta avere prestazioni mediocri con qualità prestazionale II.

### 3.3. Stato di progetto

#### 3.3.1 Obiettivi e strategie

Il progetto di riqualificazione dell'edificio mira ad individuare una serie di interventi finalizzati a raggiungere gli obiettivi di contenimento dei consumi energetici attribuibili al sistema edificio-impianti e al contempo al raggiungimento di condizioni di comfort all'interno degli ambienti confinati.

Dall'analisi dello stato di fatto sono emerse criticità che possono essere considerate il punto di partenza per il progetto. In particolar modo si è focalizzata l'attenzione sulla scarsa qualità dell'involucro edilizio

dovuta alla totale assenza di isolamento termico delle pareti esterne, del primo solaio e della copertura, all'assenza di dispositivi di schermatura solare e di sistemi di controllo della luce solare diretta ed indiretta per il controllo dei carichi termici e all'insoddisfacente rendimento dell'impianto di climatizzazione invernale.

Poiché le caratteristiche ambientali sono dati di *input* e le caratteristiche tipologiche non sono per lo più modificabili essendo l'oggetto di studio un edificio esistente, è possibile ottimizzare le prestazioni dell'edificio in termini di efficienza energetica.

Un'attenta valutazione delle opportunità di tipo tecnico, economico-finanziario e ambientale ha consentito di elaborare una strategia atta a minimizzare il fabbisogno di energia primaria richiesto dall'edificio.

Gli interventi proposti mirano a raggiungere i limiti di legge in termini di valori limite della trasmittanza termica dell'involucro edilizio dato che dall'analisi dello stato attuale si evince chiaramente che esso presenti valori di trasmittanza termica molto superiori ai 'valori limite'.

### 3.3.2 Proposte progettuali

Il progetto di riqualificazione è articolato in diverse tipologie di interventi per migliorare la prestazione energetica dell'edificio sia in regime invernale sia in quello estivo.

Nello specifico per il regime invernale sono stati ipotizzate le seguenti azioni:

- isolamento termico totale dell'involucro opaco tramite isolamento a cappotto esterno raggiungendo i limiti di legge previsti per il 1 Gennaio 2021 ( $0,32 \text{ W/m}^2\text{K}$ );
- isolamento termico totale del primo solaio raggiungendo i limiti di legge previsti per il 1 Gennaio 2021 ( $0,32 \text{ W/m}^2\text{K}$ );
- isolamento termico totale della copertura raggiungendo i limiti di legge previsti per il 1 Gennaio 2021 ( $0,26 \text{ W/m}^2\text{K}$ );
- isolamento termico parziale dei serramenti raggiungendo i limiti di legge previsti per il 1 Gennaio 2021 ( $1,80 \text{ W/m}^2\text{K}$ );

- inserimenti di pellicole basso-emissive per migliorare le prestazioni energetiche dello involucro.

Le caratteristiche già buone dell'involucro esterno in regime estivo, grazie all'elevata massa superficiale delle murature e la ridotta percentuale di superfici trasparenti, possono essere migliorate attraverso un intervento sugli elementi trasparenti tramite l'installazione di veneziane interne per la riduzione dell'irraggiamento solare.

Altri tipi di interventi, quali la controsoffittatura dei locali per ridurre il volume riscaldato, la sostituzione totale dei serramenti e l'isolamento in corrispondenza dei serramenti, sono stati esclusi dal calcolo perché, rispettivamente: l'altezza considerevole dei serramenti non permette una controsoffittatura se non di poche decine di centimetri, una parte della serramentistica è stata da poco sostituita e in corrispondenza delle finestre sono presenti i radiatori.

Successivamente all'analisi energetica ed economica dei singoli interventi sono state analizzate diverse possibili combinazioni, comparate sulla base del *weighted sum model*. Questo metodo comparativo si basa sull'attribuzione di punteggi ai singoli interventi che sono stati scelti attribuiti sulla base dei seguenti parametri (Tab. 5):

- Risparmio energetico. Viene valutato l'effettivo risparmio di consumi di energia primaria, assegnando un punteggio crescente in base alla percentuale di energia risparmiata: questo miglioramento percentuale deriva dalla differenza tra l'indice di prestazione energetica dello stato attuale e quello post-intervento.
- Economicità. La variabile economica viene valutata attraverso il tempo necessario a rientrare dell'investimento effettuato per realizzare l'intervento, il Tempo di Ritorno è quindi calcolato tramite il rapporto tra il costo necessario alla realizzazione dell'intervento e il conseguente risparmio annuo.
- Durabilità. Il parametro della durabilità esprime la capacità dei componenti edilizi di svolgere le funzioni richieste durante un periodo di

tempo specificato; viene valutata sia la durata della vita utile dell'edificio sia la sua affidabilità, ossia la probabilità di subire riparazioni o manutenzioni durante tale periodo.

- **Fattibilità.** La fattibilità è indice della possibilità di realizzazione dell'opera dal punto di vista tecnico e pratico: tiene quindi in considerazione la facilità con cui l'intervento viene realizzato integrandosi al sistema esistente.

MIGLIORAMENTO ENERGETICO	TEMPO DI RITORNO		DURABILITÀ		FATTIBILITÀ		
0%	0	>50 anni	0	non sufficiente	0	non fattibile	0
<10%	1	<50 anni	1	sufficiente	1	alta difficoltà	1
<20%	2	<25 anni	2	mediocre	2	difficile	2
<40%	3	<10 anni	3	buono	3	facile	3
>40%	4	<5 anni	4	alto	4	alta facilità	4

Tab. 5 – Tabella riepilogativa dei parametri impiegati per la valutazione degli interventi di progetto.

I punteggi variano da 1 a 4 e la loro somma fornisce un metro di paragone tra le possibili combinazioni.

Fissato un obiettivo da raggiungere (ad esempio Miglioramento Energetico < 30%), vengono presi in considerazione i punteggi totali delle combinazioni che soddisfano tale requisito.

I punteggi conseguenti all'analisi sugli interventi singoli hanno permesso inoltre di restringere il numero di possibili efficaci combinazioni.

#### *Obiettivo: miglioramento energetico*

Nell'ottica di una progettazione sostenibile, assume particolare rilevanza il risparmio di risorse energetiche non rinnovabili, al fine di ridurre il sensibile inquinamento ambientale. Assume quindi grande significato considerare, come prima ipotesi, le combinazioni aventi percentuale di miglioramento energetico maggiore del 30% (Tab. 6).

### 3. Edificio esistente

Intervento	Fabbisogno utile attuale	Fabbisogno utile postintervento	Miglioramento	Tempo di Ritorno	Costo intervento	Classe energetica globale	Punti
	[kWh/anno]	[kWh/anno]	[%]	[anni]	[€]	[-]	[-]
Caldaia - Cappotto - Copertura - Pellicole - Serramenti - Solaio - Valvole	454199	269343	40,70%	16,6	252278	G	12
Caldaia - Cappotto - Copertura - Pellicole - Serramenti - Valvole	454199	279742	38,41%	16,5	237028	G	11
Caldaia - Cappotto - Copertura - Pellicole - Valvole	454199	287095	36,79%	15,5	213267	G	11
Caldaia - Cappotto - Copertura - Valvole	454199	288946	36,38%	15,2	205921	G	11
Caldaia - Cappotto - Copertura - Pellicole	454199	302126	33,48%	16,7	208827	G	11
Caldaia - Cappotto - Pellicole - Serramenti - Valvole	454199	303072	33,27%	17,5	216974	G	11
Caldaia - Cappotto - Serramenti - Valvole	454199	304075	33,05%	17,0	209628	G	11
Caldaia - Cappotto - Serramenti - Valvole - Veneziane	454199	306633	32,49%	18,3	222206	G	11
Caldaia - Cappotto - Pellicole - Valvole	454199	309578	31,84%	16,2	193213	G	11
Caldaia - Cappotto - Pellicole - Serramenti	454199	317276	30,15%	18,9	212534	G	11
Caldaia - Cappotto - Copertura - Pellicole - Serramenti	454199	293996	35,27%	17,7	232588	G	10

Tab. 6 – Classificazione degli interventi sulla base dell’obiettivo di miglioramento energetico.

La combinazione più efficiente in termini sia di miglioramento energetico sia di punteggio risulta essere quella riguardante l’installazione di una nuova caldaia, la realizzazione di un cappotto isolante sulle pareti disperdenti verso l’esterno, l’isolamento termico totale del primo solaio all’estradosso, l’isolamento termico totale della copertura in intradosso, la sostituzione parziale dei serramenti, l’inserimento di pellicole basso emissive e l’installazione di valvole termostatiche.

Inoltre, poiché il punteggio ottenuto risulta il maggiore tra quelli considerati e il Tempo di Ritorno non si discosta molto dalle altre possibili combinazioni finalizzate al miglioramento energetico, questo intervento risulta il più indicato per il raggiungimento dell'obiettivo fissatosi.

*Obiettivo: ottimizzazione tempi di ritorno*

Si ritiene interessante porre l'attenzione su quegli interventi per cui si possa rientrare dell'investimento in tempi brevi. A tal proposito si è deciso di tenere in considerazione, in questa fase, quegli interventi il cui Tempo di Ritorno sia minore o uguale a dieci anni.

Intervento	Fabbisogno utile attuale	Fabbisogno utile postintervento	Miglioramento	Tempo di Ritorno	Costo intervento	Classe energetica globale	Punti
	[kWh/annuo]	[kWh/annuo]	[%]	[anni]	[€]	[-]	[-]
Caldiaia - Valvole	454199	340836	24,96%	1,4	12644	G	14
Caldiaia - Copertura - Pellicole - Solaio	454199	353286	22,22%	6,1	50854	G	12
Caldiaia - Copertura - Serramenti	454199	355696	21,69%	7,3	59365	G	12
Caldiaia - Copertura - Pellicole - Serramenti - Solaio - Valvole	454199	331083	27,11%	7,8	79055	G	12
Caldiaia - Copertura - Pellicole - Serramenti - Solaio	454199	345271	23,98%	8,3	74615	G	12
Caldiaia - Copertura - Pellicole - Solaio - Valvole	454199	338766	25,41%	5,8	55294	G	12
Caldiaia - Copertura - Pellicole - Serramenti - Valvole	454199	341948	24,71%	6,9	63805	G	11
Copertura - Pellicole - Solaio - Valvole	454199	394829	13,07%	9,6	47090	G	9

Tab. 7 – Classificazione degli interventi sulla base dell'obiettivo del minor Tempo di Ritorno.



### 3. Edificio esistente

L'investimento migliore in termini di Tempo di Ritorno riguarda la sostituzione dell'impianto di generazione e contemporaneamente l'installazione di valvole termostatiche in corrispondenza di ciascun radiatore. Inoltre, oltre ad essere uno degli interventi con risparmio energetico maggiore tra quelli proposti al fine di perseguire l'obiettivo dichiarato, risulta anche essere quello con il punteggio maggiore.

*Obiettivo: budget fissato a 200.000 €*

Nell'ambito professionale spesso ci si deve confrontare con problemi relativi alla disposizione di budget. Nell'ipotesi di una reale realizzazione dell'intervento, si è quindi deciso di porsi un limite

Intervento	Fabbisogno utile attuale	Fabbisogno utile postintervento	Miglioramento	Tempo di Ritorno	Costo intervento	Classe energetica globale	Punti
	[kWh/annuo]	[kWh/annuo]	[%]	[anni]	[€]	[-]	[-]
Caldaia - Valvole	454199	340836	24,96%	1,4	12644	G	14
Caldaia - Cappotto - Pellicole - Valvole	454199	309578	31,84%	16,2	193213	G	13
Caldaia - Copertura - Pellicole - Serramenti - Solaio - Valvole	454199	331083	27,11%	7,8	79055	G	12
Caldaia - Copertura - Pellicole - Serramenti - Solaio	454199	345271	23,98%	8,3	74615	G	12
Caldaia - Copertura - Serramenti	454199	355696	21,69%	7,3	59365	G	12
Caldaia - Copertura - Pellicole - Solaio	454199	353286	22,22%	6,1	50854	G	12
Cappotto - Copertura - Valvole	454199	336705	25,87%	20,5	197717	G	12
Caldaia - Cappotto - Pellicole	454199	324089	28,65%	17,6	188773	G	12
Caldaia - Cappotto - Valvole	454199	318944	29,78%	16,7	185867	G	11
Caldaia - Cappotto	454199	333898	26,49%	18,3	181427	G	11

Tab. 8 – Classificazione degli interventi sulla base dell'obiettivo di un budget massimo.

di 200.000 € per i possibili interventi al fine di confrontarsi con problemi di natura economica.

Di seguito è riportata la tabella relativa alle combinazioni di interventi ordinate in base al punteggio.

Tra i casi presi in considerazione, l'intervento più performante in termini di miglioramento energetico, risulta essere la combinazione riguardante l'installazione di una nuova caldaia, la realizzazione di un cappotto isolante sulle pareti disperdenti verso l'esterno, l'inserimento di pellicole basso emissive e l'installazione di valvole termostatiche.

Intervento	Fabbisogno utile attuale	Fabbisogno utile postintervento	Miglioramento	Tempo di Ritorno	Costo intervento	Classe energetica globale	Punti
	[kWh/annuo]	[kWh/annuo]	[%]	[anni]	[€]	[-]	[-]
Caldaia – Valvole	454199	340836	24,96%	1,4	12644	G	14
Caldaia - Cappotto - Copertura - Pellicole - Serramenti - Solaio - Valvole	454199	269343	40,70%	16,6	252278	G	12
Caldaia - Copertura - Pellicole - Serramenti - Solaio	454199	345271	23,98%	8,3	74615	G	12
Caldaia - Copertura - Pellicole - Serramenti - Solaio - Valvole	454199	331083	27,11%	7,8	79055	G	12
Caldaia - Copertura - Pellicole – Solaio	454199	353286	22,22%	6,1	50854	G	12
Caldaia - Copertura - Serramenti	454199	355696	21,69%	7,3	59365	G	12
Caldaia – Cappotto	454199	333898	26,49%	18,3	181427	G	11
Caldaia - Cappotto - Copertura – Pellicole	454199	302126	33,48%	16,7	208827	G	11
Caldaia - Cappotto - Copertura - Pellicole - Serramenti – Valvole	454199	279742	38,41%	16,5	237028	G	11
Caldaia - Cappotto - Copertura - Pellicole - Valvole	454199	287095	36,79%	15,5	213267	G	11
Caldaia - Cappotto - Copertura - Valvole	454199	288946	36,38%	15,2	205921	G	11

Tab. 9 – Classificazione complessiva degli interventi proposti.

Si è preferito questo intervento rispetto a quello con il punteggio maggiore perché si è considerato più importante garantire un maggiore miglioramento energetico. Considerata la differenza limitata tra i punteggi delle due opzioni, tale scelta non risulta comunque essere svantaggiosa da questo punto di vista.

*Obiettivo: punteggio massimo*

Nel caso in cui non ci si ponga un obiettivo specifico, il criterio di valutazione si basa esclusivamente sul *weighted sum model*.

Sommati quindi, per ogni possibile combinazione, i punteggi relativi ai parametri di risparmio energetico, economicità, durabilità, fattibilità, è stata realizzata la seguente tabella.

La combinazione con il punteggio più alto risulta essere quella riguardante gli interventi sull'impianto (la sostituzione della caldaia e installazione delle valvole di regolazione); questo è dovuto ad un buon miglioramento energetico (24,96%) a fronte di una spesa ragionevole [12.644 €], all'ottima fattibilità di intervento ed all'elevata durabilità.

### **3.4. Considerazioni conclusive**

Le soluzioni progettuali sono state studiate analizzandone diverse caratteristiche (Risparmio energetico, costi, durabilità e fattibilità) al fine di valutare la reale efficacia di quanto proposto. Sono state poi creati quattro scenari al fine di perseguire diversi obiettivi che possono rappresentare le richieste reali quali: massimo miglioramento del risparmio energetico, ottimizzazione dei tempi di ritorno dell'investimento, budget massimo prestabilito pari a 200.000€ e ottimizzazione di tutti e quattro gli aspetti analizzati.

Dall'analisi emerge che nel caso del primo obiettivo e del terzo, la combinazione di interventi sull'involucro edilizio e sui sistemi impiantistici permette di ottenere la soluzione ottimale, mentre, nel caso degli altri due obiettivi, i soli interventi sul sistema impiantistico risultano

essere la strategia migliore permettendo infatti di ottenere elevati risultati in termini principalmente di tempo, di ritorno dell'investimento poichè sono interventi con un costo ridotto ma ad elevato risparmio energetico. È importante però sottolineare che questi ultimi sono anche parti del sistema edificio-impianto con vita utile ridotta: fattore, questo, da tenere in considerazione.

**Renata Morbiducci**, è architetto, dottore di ricerca in ingegneria delle strutture. Professore ordinario di architettura tecnica e docente per Corsi di Dottorato, di Master e di Corsi universitari in Ingegneria e Architettura. È membro dell'ONG RINGO, Delegazione COP-UNFCCC. È responsabile scientifico di progetti internazionali e nazionali. Ha svolto attività di ricerca presso la University of Colorado (Boulder) e la Northwestern University (Evanston Chicago) ed è stata docente presso la Florida International University (FIU).

Il settore delle costruzioni sta entrando nella nuova era di trasformazione circolare e digitale dell'economia, con un rapido allineamento dei processi di produzione, costruzione e gestione ai principi dell'industria 4.0. La codifica di quelle che possono essere definite «scelte progettuali sostenibili» può essere definita investigando i principali ambiti annessi alla progettazione tecnica dell'architettura e dell'edilizia. A partire degli insegnamenti dei corsi universitari si possono distinguere numerosi ambiti di azione culturale teorica e applicativa dove analizzare gli sviluppi dei diversi aspetti inerenti l'innovazione nella progettazione sostenibile del costruito. Il presente volume contiene contributi di Renata Morbiducci, Clara Vite, Salvatore Polverino e Vittoria Bonini; in tali contributi gli autori analizzano i possibili strumenti al servizio di una progettazione sostenibile dell'architettura e di una sua declinazione nella didattica universitaria dal punto di vista teorico-applicativo.

e-ISBN: 978-88-3618-232-9

In copertina:  
*Sostenibilità*  
composizione di Alessandro Castellano, 2023