



Via Galileo Ferraris, 13 - 20052 Monza (MB) Info@newen.eu



Via G.Verdi 17 - 10087 Valperga (TO) gianni@pomatto.info

Via Roma 45 - 10080 Locana (TO) www.0124.to.it

---

# DIAGNOSI ENERGETICA

---

## Istituto tecnico commerciale Ottaviano Fabrizio Mossotti

Viale Curtatone, 3 - Novara

---

Committente	Provincia di Novara	Edificio	Complesso Scolastico Mossotti
Indirizzo	Viale Curtatone, 3	Comune	Novara
Data commessa	23-04-10	Data consegna relazione	17-05-10
Codice progetto	0029/2010	Persona referente documento	Ing. Gianluigi Redaelli
Versione relazione	Ver. 1.0	Editor documento	Arch. Alessandra Galbiati Arch. Gianbattista Pomatto Ing. Federico Mattioli Arch. Christian Negro Frer
Nome File	10-05-17 Diagnosi Mossotti.docx		

## Sommario

Introduzione .....	1
1. Descrizione edificio.....	2
1.1 Dati edificio.....	3
1.2 Planimetrie.....	4
1.2.1 Piano Giardino .....	4
1.2.2 Pianta Piano Rialzato .....	5
1.2.3 Pianta Piano Primo.....	6
1.2.4 Pianta Piano secondo .....	6
1.2.5 Pianta Piano terzo .....	7
1.3 Manufatto architettonico.....	8
1.3.1 Tipologie costruttive .....	8
1.4 Serramenti .....	11
1.5 Impianto di climatizzazione.....	11
1.5.1 Impianto termico.....	11
1.5.2 Caldaia a gasolio .....	12
1.6 Sistema di building automation .....	13
1.7 Impianto elettrico .....	14
1.7.1 Carichi .....	14
1.8 Impianto di illuminazione .....	14
2. Analisi del contesto.....	15
2.1 Studio delle condizioni climatiche di Novara .....	15
2.1.1 Andamento gradi giorno.....	15
3. Identificazione delle criticità .....	17
4. Analisi energetica dell'edificio .....	21
4.1.1 Analisi dei consumi .....	21
5. Proposta di interventi migliorativi .....	24
5.1 Intervento 1 - Sostituzione serramenti.....	24
5.2 Intervento 2 - Coibentazione del tetto .....	24
5.3 Intervento 3 - Caldaia a condensazione + valvole termostatiche .....	25
5.4 Intervento 4 - Installazione valvole termostatiche .....	25
5.5 Intervento 5 - Building Automation.....	25
5.5.1 Gestione e controllo clima, riscaldamento e raffrescamento.....	26
5.5.2 Gestione dell'illuminazione artificiale .....	26
5.6 Intervento 7 - Impianto illuminazione.....	28
6. Conclusioni.....	29
6.1 Analisi costi/benefici degli interventi proposti.....	32
6.1.1 Interventi sistema Edificio - Impianti .....	32

## Introduzione

Nelle pagine che seguono sono riportati i risultati dell'analisi energetica sull'istituto Mossotti e Bermiani.

Questa analisi costituisce una base di riferimento su cui poter valutare eventuali interventi sull'edificio dal punto di vista energetico, individuando il potenziale di risparmio ottenibile attraverso alcuni interventi migliorativi del sistema edificio - impianti.

La diagnosi energetica del presente complesso, rientra all'interno di un bando più esteso della Provincia, che coinvolge anche il Liceo artistico Casorati a Romagnano Sesia e l'Istituto per geometri Nervi; le diagnosi energetiche forniranno gli strumenti per l'individuazione degli interventi da intraprendere coniugando un problema di Budget limitato (solo € 150.000,00 per l'esecuzione degli interventi sui tre complessi, Istituto Nervi, Liceo Casorati, Istituto Mossotti, e compresi della progettazione degli stessi).

L'analisi condotta si è fortemente adattata alle esigenze e alle specifiche economiche espresse dalla Provincia di Novara con l'obiettivo di portare a identificare interventi effettivamente realizzabili dall'Ente. Pertanto sono stati considerati interventi di varia importanza economica, valutando se, effettivamente ad un onere economico elevato corrisponde un effettivo guadagno in termini di risparmio energetico.

In sintesi l'idea è quella di poter fornire alla Provincia di elementi per poter prevedere un piano di recupero energetico degli edifici che attualmente versano in condizioni non confortanti.

Le attività sono state condotte seguendo la procedura prevista dalla legge regionale 28 maggio 2007 n. 13/2007, recante disposizioni in materia di rendimento energetico nell'edilizia e secondo le disposizioni attuative in vigore dal 1° ottobre 2009

La certificazione energetica e i relativi risultati sono stati ottenuti utilizzando il tool SW EDILCLIMA (Versione 7.4.1).

L'analisi è stata realizzata seguendo il seguente schema:

1. Sopralluogo preliminare;
2. Acquisizione dei dati utili alla Diagnosi Energetica;
3. Compilazione del tool EDILCLIMA;
4. Valutazione dei risultati ottenuti;
5. Identificazione delle criticità energetiche relative al sistema edificio - impianto;
6. Identificazione degli interventi migliorativi;
7. Valutazioni economiche;
8. Considerazioni finali.

## 1. Descrizione edificio



*Figura 1- Vista esterna Istituto Mossotti*

L'edificio oggetto dell'analisi è la sede dell'Istituto tecnico commerciale e per il turismo "Ottaviano Fabrizio Mossotti", situato in prossimità dell'Istituto "Pierluigi Nervi" e consta di 5 piani fuori terra e un piano interrato.

Al piano rialzato sono localizzati gli spazi di accoglienza, le aule dei professori; al piano primo, secondo e terzo la distribuzione avviene attraverso un corridoio che distribuisce entrambe le ali del complesso scolastico.

L'impianto di climatizzazione invernale è costituito da tre caldaie ( $P_u$  pari a 2.042 kW complessivi), alimentata a gasolio che provvedono al riscaldamento di tutta la scuola attraverso radiatori e ventilconvettori distribuiti in ciascuna aula e nei corridoi interni.

Le stratigrafie dell'edificio sono state stimate in base agli spessori delle murature, all'anno di costruzione dell'edificio e alla tipologia edilizia, fortemente riconoscibile.

I serramenti sono tutti in alluminio o in ferro, anche se si possono distinguere tre diverse tipologie, la prima a vetro singolo, la seconda, a doppio vetro, la terza in ferro e vetro singolo.

La copertura è in parte piana e non presenta isolamento.

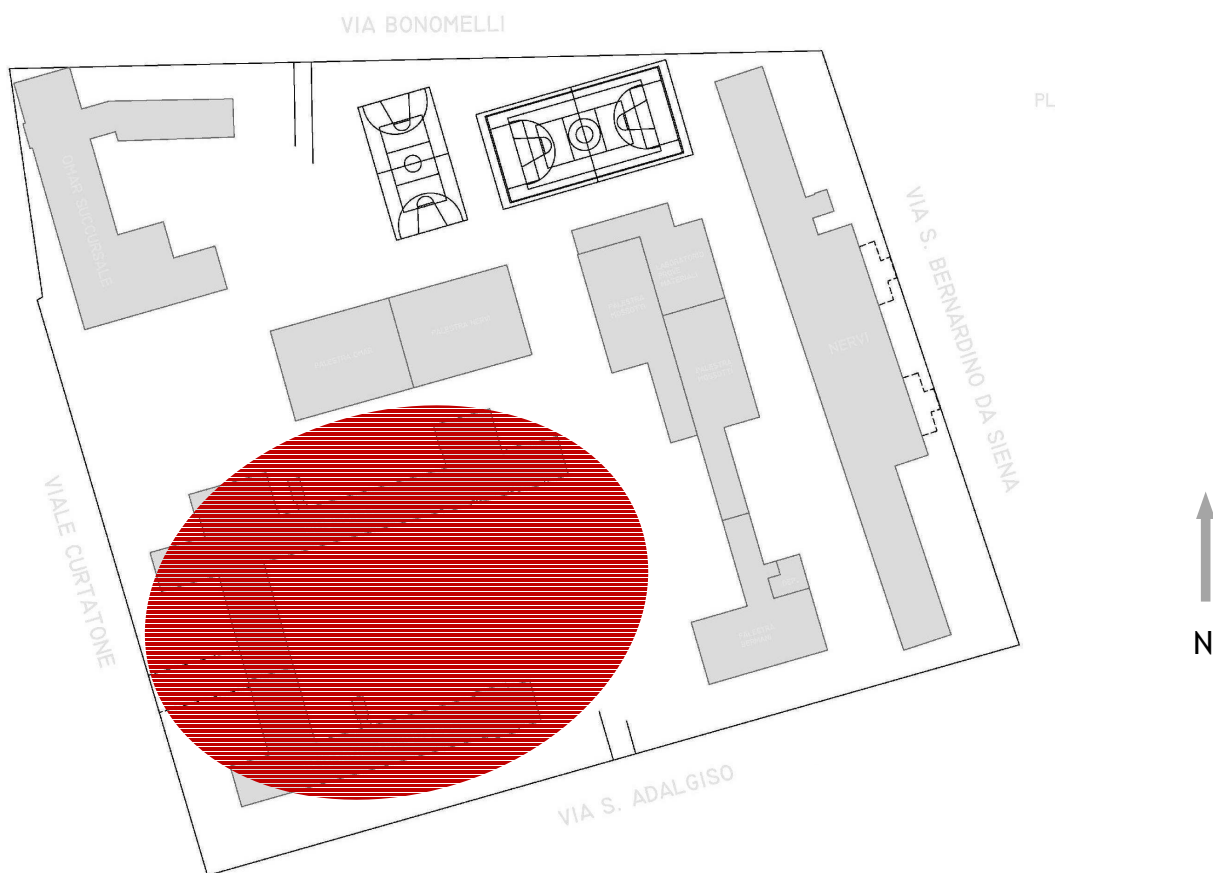


Figura 2 - Planimetria generale Complesso scolastico Nervi - Mossotti - Bermani

## 1.1 Dati edificio

I dati relativi alla geometria dell'edificio derivano dall'osservazione diretta nel corso dei sopralluoghi e da dettagli forniti dall'ufficio edilizia della Provincia di Novara. Il calcolo delle superfici è stato effettuato a partire dalle planimetrie in formato .Dwg fornite dagli uffici tecnici della Provincia.

Dati Geometrici		Descrizione
Numero dei piani climatizzati	5	Piano Giardino Piano Rialzato Piano Primo Piano Secondo Piano Terzo
Altezza netta dei locali [m]		L'altezza interna è di circa 3,5 m causa della funzione che si svolge all'interno dell'edificio
Superficie netta riscaldata [m <sup>2</sup> ]		
Superficie lorda riscaldata [m <sup>2</sup> ]		
Superficie opaca disperdente [m <sup>2</sup> ]	14.611,28	Le superfici disperdenti indicano i punti di criticità termica dell'involucro edilizio
Superficie trasparente disperdente [m <sup>2</sup> ]	2.829,02	

Superficie totale disperdente [m <sup>2</sup> ]	19.066,73	
Volume netto riscaldato [m <sup>3</sup> ]	39.617,34	Valore ricavato forfettariamente sottraendo il 20% al volume lordo riscaldato
Volume lordo riscaldato [m <sup>3</sup> ]	49.521,68	Volume al lordo delle murature, delle coperture, delle solette interpiano e contro terra
Rapporto S/V	0,39	Il fattore di forma della scuola, ovvero il rapporto fra la superficie riscaldata e il volume
Numero servizi	22	Sono distribuiti a blocchi, 5 per piano

*Tabella 1 - Dati riassuntivi Istituto Mossotti*

## 1.2 Planimetrie

### 1.2.1 Piano Giardino

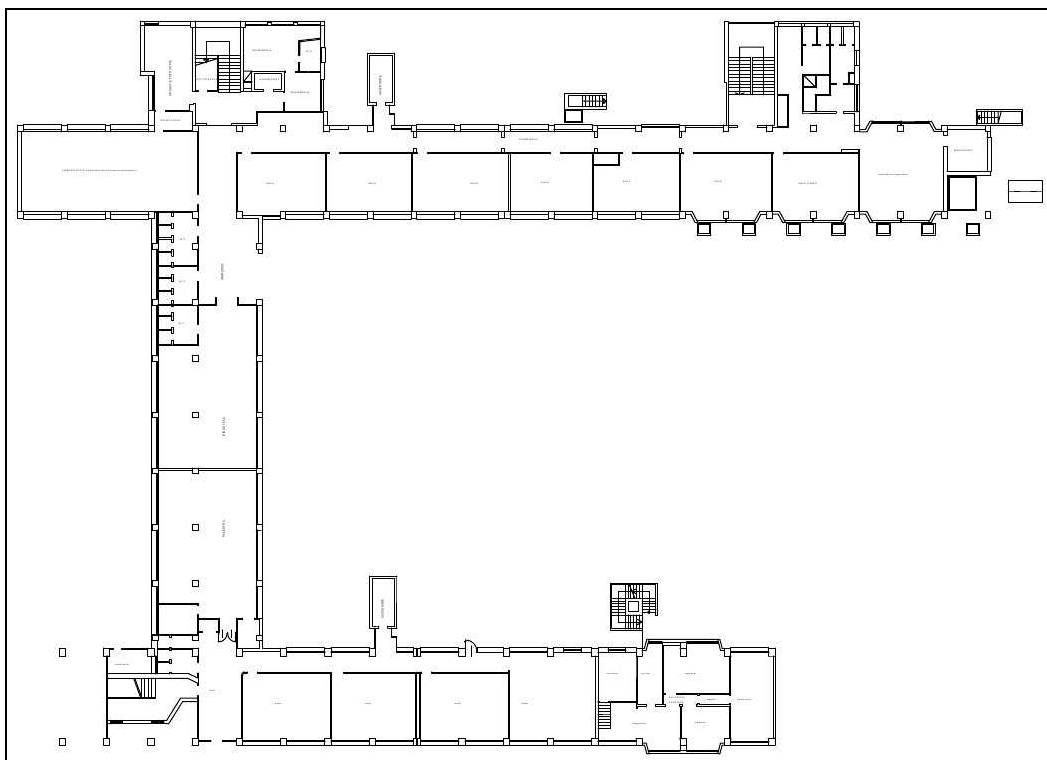
Gli spazio di maggior dimensioni che si possono notare dalla planimetria sotto riportata sono una piccola palestra con i suoi spazi accessori, la biblioteca e il laboratorio macchine da scrivere.

Dallo spazio centrale d'ingresso, invece, è possibile risalire ai piani successivi grazie ai due blocchi scale che si trovano su entrambi i lati.

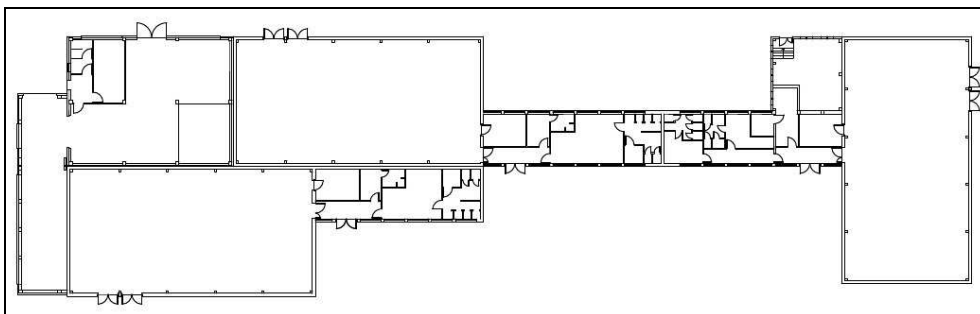
Al piano giardino è inoltre presente l'alloggio del custode.

La Figura 4 rappresenta invece la palestra all'interno del cortile.

N.B. è stata considerata anche la palestra a Nord del Mossotti.



*Figura 3 - Pianta Piano Giardino*



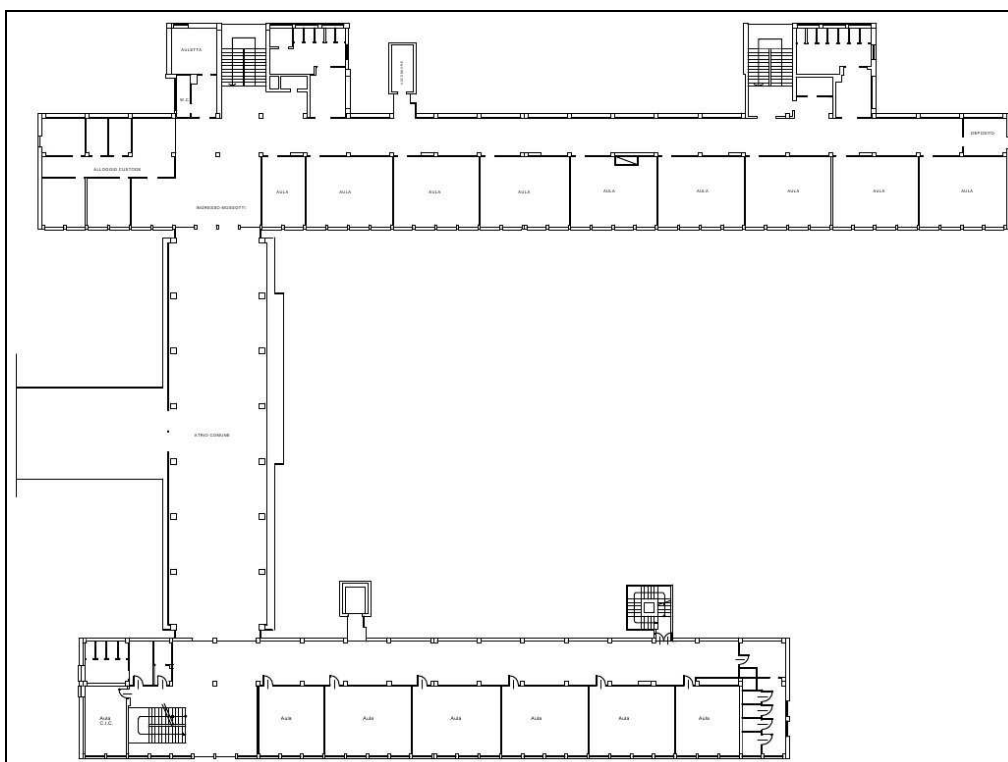
*Figura 4 - Pianta palestra*

### 1.2.2 Pianta Piano Rialzato

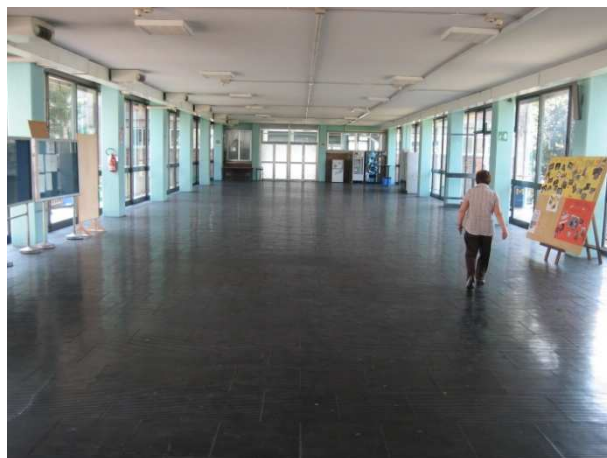
Il piano rialzato è caratterizzato da un ampio atrio d'ingresso centrale con le pareti interamente vetrate, dal quale si può accedere alle due ali del complesso scolastico.

I piani primo, secondo e terzo, sono molto simili a livello distributivo: tre corpi scala che servono le aule attraverso corridoi; di fianco ai corpi scala sono posizionati la maggior parte dei blocchi dei servizi.

Le dimensioni delle aule sono simili, circa 50 m<sup>2</sup>.



*Figura 5 - Pianta Piano Rialzato*

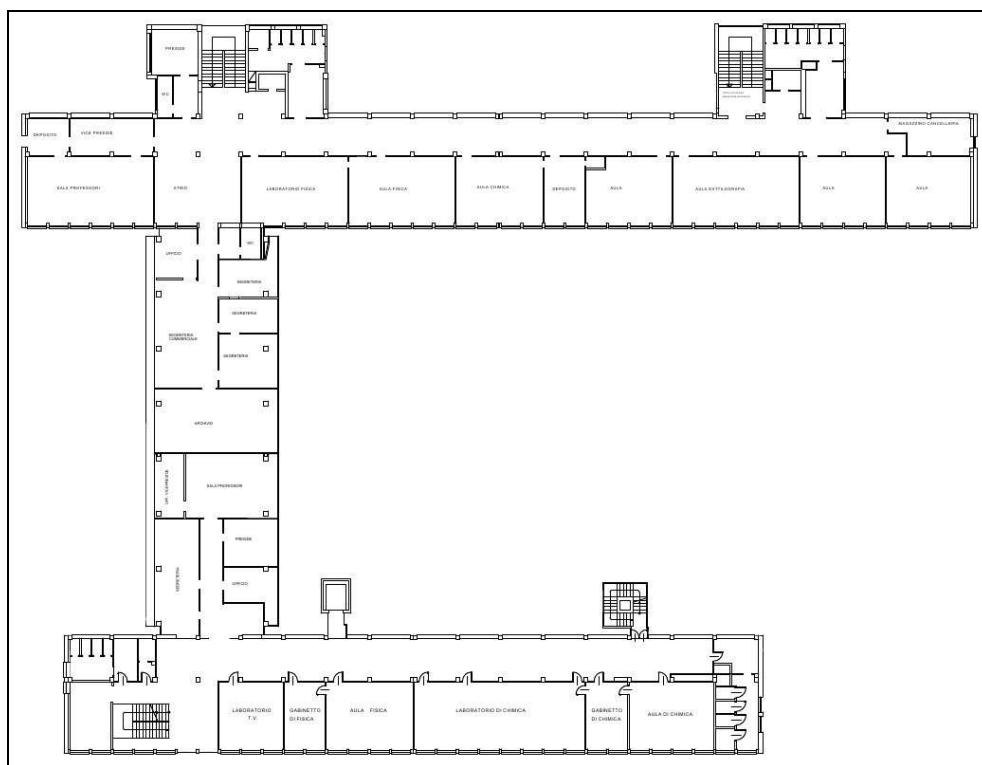


*Figura 6 - Immagini Piano Rialzato*

### 1.2.3 Pianta Piano Primo

Il primo piano è caratterizzato dalla presenza di tutti spazi di accoglienza, dalla segreteria, all'aula professori, e la maggior parte dei laboratori.

Tutte le aule di amministrazione e accoglienza sono situate nel corpo centrale sopraelevato.

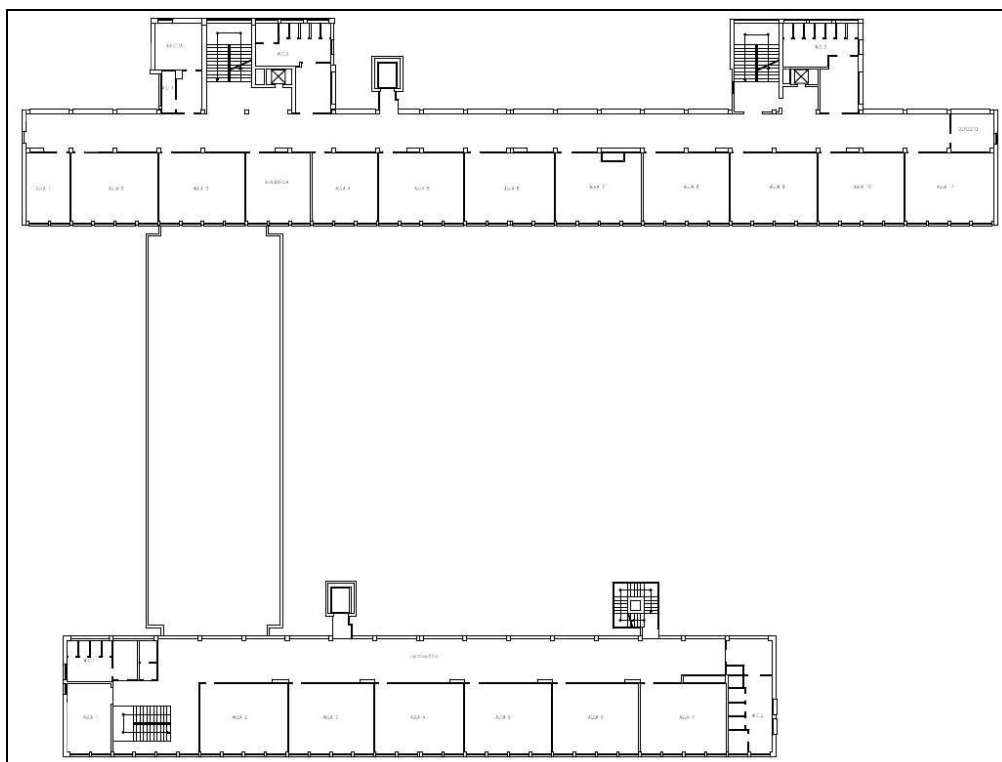


*Figura 7 - Pianta Piano Primo*

### 1.2.4 Pianta Piano secondo

Il piano secondo mantiene i due corpi laterali con le aule.

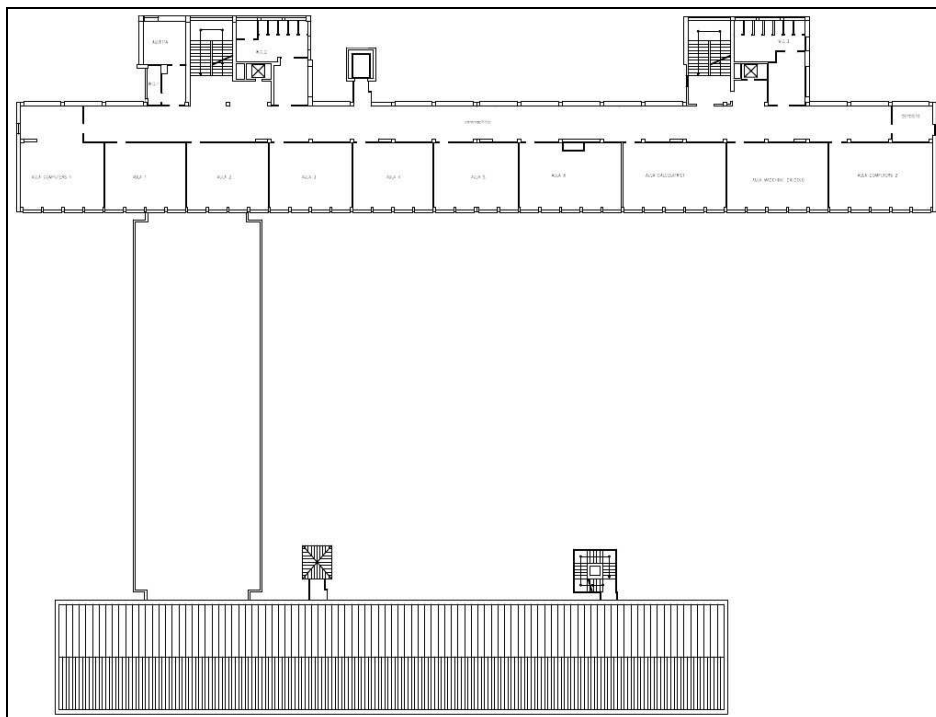




*Figura 8 - Pianta Piano Secondo*

### 1.2.5 Pianta Piano terzo

Il piano terzo mantiene il solamente il corpo occupato dall'istituto Mossotti con 12 aule.



*Figura 9 - Pianta Piano Terzo*



Figura 10 - Immagini Piano terzo

## 1.3 Manufatto architettonico

Le stratigrafie dell'edificio sono state stimate in base agli spessori delle murature e all'anno di costruzione dell'edificio (tipologia edilizia). La struttura portante è in cemento armato con tamponamenti in mattoni pieni o mattoni forati.

Le facciate dell'edificio sono modulari, anche se molto diverse tra loro; il prospetto Est presenta un'enorme quantità di superficie vetrata, mentre quella ad Ovest, si presenta più chiusa.



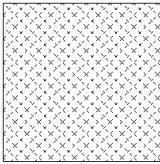
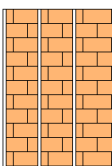
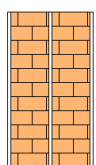
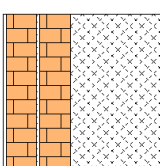

Figura 11 - Fronti Nord-Est e Sud-Ovest

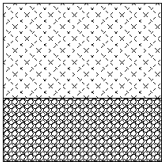
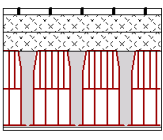
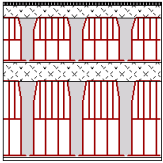

### 1.3.1 Tipologie costruttive

I dati relativi alle tipologie costruttive derivano dall'osservazione diretta nel corso dei sopralluoghi e da dettagli forniti dall'ufficio edilizia della Provincia di Novara. Il calcolo delle superfici corrispondenti alle tipologie censite è stato effettuato a partire dalle planimetrie in formato .dwg fornite dagli uffici tecnici della Provincia. La tipologia delle pareti verticali è prevalentemente in muratura a mattoni pieni.

La tabella di seguito riassume gli elementi censiti e riporta una descrizione della stratigrafia, della superficie interessata, della trasmittanza calcolata e un confronto, a titolo di esempio, con i valori

limite per le nuove costruzioni definiti dalla legge regionale 28 maggio 2007 n. 13/2007, e dalle disposizioni attuative DGR 46-11968 recanti disposizioni in materia di rendimento energetico nell'edilizia.

Stratigrafie						
Descrizione				Superficie [m <sup>2</sup> ]	U [W/m <sup>2</sup> K]	U [W/m <sup>2</sup> K] limite
Pareti	M1		Muratura in Cls di sabbia e ghiaia - 60 cm	621,65	1,89	0,28
	M2		Muratura in mattoni forati + rivestimento in mattoni pieni - 35 cm	2.281,35	1,12	
	M3		Muratura in mattoni pieni - 27 cm	1.723,46	1,99	
	M4		Muratura in mattoni forati + rivestimento in cls - 52 cm	1.082,67	1,08	
Porta	M6		Porta REI - 6,4 cm	48,84	0,63	
Serramenti	F1	Finestra 335x220		206,36	3,39	1,80
	F2	Finestra 450x220		29,70	4,08	
	F3	Finestra 300x120		3,60	6,24	
	F4	Finestra 500x220		11,00	4,07	
	F5	Finestra 290x120		20,88	6,25	
	F6	Finestra 130x230		38,87	6,25	
	F7	Finestra 200x120		48,00	6,25	
	F8	Finestra 140x120		31,92	6,49	
	F9	Finestra 400x120		9,60	6,27	
	F10	Finestra 330x200		6,60	6,08	
	F11	Finestra 180x350		25,20	6,04	

	F12	Finestra 167130		7,98	6,36	
	F13	Finestra 280120		30,24	6,25	
	F14	Finestra 120100		6,00	6,57	
	F15	Finestra 220120		2,64	6,29	
	F16	Finestra 445120		90,78	6,16	
	F17	Finestra 90x270		2,43	6,38	
	F18	Finestra 120x120		4,32	6,50	
	F19	Finestra 260x120		15,60	6,26	
	F20	Finestra 335x120		28,14	6,25	
	F21	Finestra 280x220		6,16	6,11	
	F22	Finestra 445x220		48,95	6,03	
	F23	Finestra 173x140		1096,13	3,57	
	F24	Finestra 350x120		420,00	6,21	
	F25	Finestra 100x350		28,00	6,28	
	F26	Finestra 400x270		64,80	5,93	
	F27	Finestra 445x330		205,45	5,94	
	F28	Finestra 445x210		130,83	6,00	
	F29	Finestra 165x120		7,92	6,39	
	F30	Finestra 400x430		34,40	5,88	
	F31	Finestra 200x100		96,00	6,38	
	F32	Finestra 215x164		70,52	6,18	
Solaio	P1		Solaio in cls su terreno - 50 cm	4.087,03		0,27
	P2		Solaio verso esterno - 38,5 cm	580,32		
	S1		Solaio di copertura verso esterno, spessore - 52 cm	1.638,06	1,15	0,24
	S2		Solaio di copertura verso esterno, spessore - 31 cm	407,79	1,82	

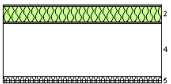
	S3		Solaio di copertura verso esterno, spessore - 25 cm	2.140,11	0,40	
--	----	---	---	----------	------	--

Tabella 2 - Stratigrafie presenti

## 1.4 Serramenti

I serramenti sono in alluminio o ferro con vetri singoli negli spazi comuni e con vetro doppio nelle aule; i serramenti infatti sono già stati sostituiti nel corso degli anni e si è preferito migliorare le prestazioni di quegli spazi in cui gli alunni necessitano di un comfort interno maggiore per creare le condizioni più favorevoli all'apprendimento.



Figura 12 - Serramenti esistenti

## 1.5 Impianto di climatizzazione

L'impianto di climatizzazione è costituito da tre caldaie a gasolio con un a  $P_u$  2040 kW complessivi, alimentate a gasolio, che provvedono al riscaldamento di tutta la scuola. L'impianto in centrale è di recente installazione e usa come combustibile il gasolio, fortemente inquinante.

L'impianto di climatizzazione estiva non è previsto, ma sono presenti in alcuni uffici dei fancoil che vanno ad aggiungersi ai radiatori già presenti e possono funzionare anche per il raffrescamento. Ai fancoil interni corrispondono all'esterno dei moto condensanti.

### 1.5.1 Impianto termico

L'Istituto Tecnico Mossotti è fornito di una centrale termica situata a piano giardino, in un corpo adiacente alla struttura principale in cui è stato possibile reperire le informazioni riportate nella Tabella 3; l'impianto è in funzione 6 giorni su 7, in modo continuo per il periodo di accensione del riscaldamento.

Dati Impianto Termico			
Caldaia	1	2	3
Marca	Unical	Unical	Ferroli
Modello	P730	P730	
Combustibile	Gasolio	Gasolio	Gasolio
Potenza al focolare [kW]	624-795	624-795	661
Potenza nominale [kW]	580-730	580-730	582
Anno di installazione	2001	2001	//
Rendimento [%]	89,3	90,9	89,1
Distribuzione [%]	93,6	Dati comuni	Dati comuni
Corpi scaldanti [%]	90	Dati comuni	Dati comuni
Regolazione [%]	90	Dati comuni	Dati comuni
Tipo di gestione	Gestione calore	Gestione calore	Gestione calore
Dispositivi di regolazione	Climatica	Climatica	Climatica

*Tabella 3 - Caratteristiche impianto Termico*

### 1.5.2 Caldaia a gasolio

Le caldaie a gasolio, risultano oggi poco utilizzate per svariati motivi:

- il combustibile presenta molte impurità e sostanze pesanti rendono molto difficile una combustione “pulita”
- il costo del gasolio è superiore a quello del gas, 1,2 €/lt, contro i 0,7 €/m<sup>3</sup>
- necessitano di una manutenzione molto più frequenti delle caldaie a gas
- necessita di un serbatoio in cui stoccare il gasolio comprato

Di contro il gasolio è più sicuro perché, nonostante la sua infiammabilità, non comporta esplosioni.

Riportiamo di seguito alcune immagini degli elementi dell'impianto.





Figura 13 - Componenti impianto

## 1.6 Sistema di building automation

Non sono presenti sistemi di building automation, soluzioni che trasformerebbero gli ambienti in “intelligenti” rendendo le apparecchiature elettriche ed elettroniche in essi contenute in grado di comunicare e dialogare tra loro compiendo azioni che altrimenti sarebbero lasciate all’utilizzo dell’utente finale. La loro presenza fornirebbe all’edificio, pur con grande semplicità, benessere, funzionalità, sicurezza e risparmio, perché riuscirebbe a eliminare gli sprechi dettati dall’utilizzo errato o improprio delle persone.

## 1.7 Impianto elettrico

L'impianto elettrico principale è distribuito unicamente in bassa tensione (BT) a 210-220 V.

### 1.7.1 Carichi

I carichi elettrici principali dell'edificio sono assorbiti prevalentemente dal sistema di illuminazione, dai Pc presenti, dai macchinari nei laboratori e dai dispositivi per ufficio.

## 1.8 Impianto di illuminazione

L'impianto di illuminazione presente in tutto l'edificio è un impianto obsoleto, le lampade utilizzate per l'illuminazione sono lampade fluorescenti che consumano circa  $36 \div 40$  W, lontani dalle prestazioni garantite da lampadine a basso consumo energetico che consumano circa la metà.

Il rilievo dei corpi illuminanti non è stato svolto in maniera puntuale durante il sopralluogo, ma sono state fatte delle considerazioni partendo dalla normativa UNI U29000310; abbiamo ipotizzato che per ogni aula bisognasse soddisfare 500 lux che corrispondono a 20 lampade a fluorescenza da 1,2m; abbiamo poi conteggiato una somma forfettaria di 600 lampade per gli altri spazi. Ne consegue che le lampade presenti nelle aule sono 1.280 a cui si sommano le 600 negli spazi comuni per un totale di 1.880.

I consumi di queste lampade andrebbero a concorrere per circa la metà dei consumi elettrici dell'Istituto Mossotti.



## 2. Analisi del contesto

### 2.1 Studio delle condizioni climatiche di Novara

Le condizioni climatiche standard del territorio di Novara, come definite dal D.P.R. 412/93 e dalle UNI 10349, sono riportate nella tabella che segue:

Dati generali e climatici	
Gradi Giorno	2463 GG
Zona climatica	E
Durata convenzionale del periodo di riscaldamento	183 giorni
Temperatura esterna di progetto	-5.0°C
Temperatura interna di progetto	20.0°C
Altitudine sopra il livello del mare	159 m
Umidità relativa	50.0%
Latitudine	45° 26' Nord
Longitudine	8° 37' Est
Velocità max. del vento e direzione prevalente	1,6 m/s Nord
Temperatura esterna bulbo asciutto	30,5°C
Temperatura esterna bulbo umido	22,3°C
Escursione termica giornaliera	12,0°C

Figura 6 - dati generali e climatici di Novara

Il parametro più interessante ai fini dell'analisi sono i Gradi Giorno (GG), ovvero un parametro che definisce l'andamento delle temperature in una stagione termica. I GG indicano la somma annuale delle sole differenze positive giornaliere tra la temperatura convenzionale fissata a 20°C, e la temperatura media esterna giornaliera per la durata del riscaldamento. I GG sono definiti dalla UNI 10349 e vengono convenzionalmente utilizzati per il calcolo del fabbisogno termico di un edificio, rappresentano il dato medio su 40 anni.

L'analisi della variabilità delle condizioni climatiche è il presupposto a qualsiasi valutazione del comportamento energetico di un edificio. In primo luogo, infatti, i consumi termici di un edificio variano al variare delle condizioni climatiche, pertanto ogni variazione non riconducibile all'aumento o alla diminuzione della temperatura esterna dipende da fattori legati all'uso e alla manutenzione dell'edificio.

#### 2.1.1 Andamento gradi giorno

L'andamento dei gradi giorno negli anni 2005-2006, 2006-2007-2007-2008 viene riassunto nelle seguenti tabelle, prendendo come riferimento i dati reali di Novara.

Questi gradi giorni sono stati utilizzati per la modellazione dell'edificio con il Tool Edilclima per formulare l'andamento dei consumi e il loro rapporto con le variazioni climatiche e per verificare la correttezza del modello elaborato; si è proceduto infatti a modellare i consumi attuali dell'Istituto e poi inserendo i gradi giorno reali degli anni precedenti si è verificata la correttezza del modello elaborato.

MEDIE MENSILI 2005 - 2006		MEDIE MENSILI 2006 - 2007	
GRADI GIORNO 2460		GRADI GIORNO 1778	
OTTOBRE	13,6	OTTOBRE	15,6
NOVEMBRE	6,9	NOVEMBRE	9,8
DICEMBRE	1,5	DICEMBRE	5,1
GENNAIO	1,3	GENNAIO	5,8
FEBBRAIO	3,3	FEBBRAIO	7,0
MARZO	7,9	MARZO	10,8
APRILE	13,8	APRILE	17,6

MEDIE MENSILI 2007 - 2008	
GRADI GIORNO 2180	
OTTOBRE	13,9
NOVEMBRE	7,8
DICEMBRE	3,3
GENNAIO	4,5
FEBBRAIO	6,1
MARZO	10,1
APRILE	12,8

Tabella 4 - Gradi giorni a Novara

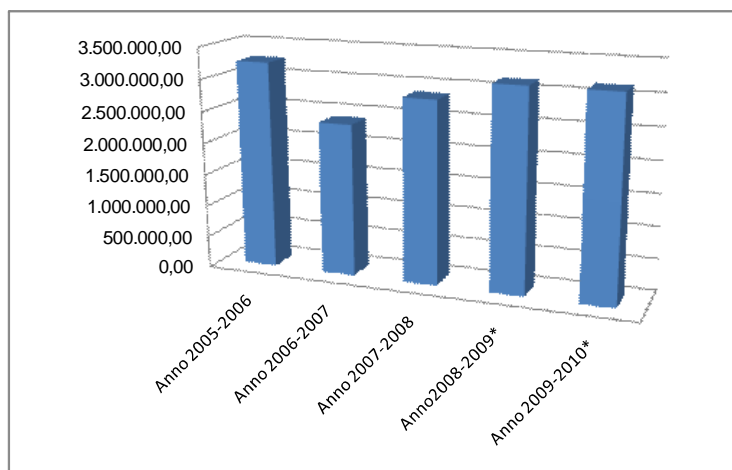



Figura 14 - Andamento dei gradi giorno

### 3. Identificazione delle criticità

Da una prima analisi dei parametri costruttivi dell'edificio è possibile evidenziare i problemi indicati nella Tabella 5 seguente. Per ogni problema è presentata un'immagine esplicativa e una breve descrizione.

	Problema	Descrizione
Ventilazione indesiderata	 	<p>Lo stato di manutenzione delle strutture è piuttosto critico. Si rilevano numerosi infissi danneggiati sia nei montanti e nei traversi quanto negli elementi strutturali e nei controtelai dei singoli serramenti. Questo determina una riduzione della tenuta dei singoli serramenti e un conseguente surplus di ventilazione interna. Tale ventilazione "indesiderata" comporta consistenti perdite di calore durante la stagione termica.</p> <p>E' opportuno pertanto individuare misure che contengano la ventilazione non desiderata.</p>
Scarsa capacità isolante delle finestre	 	<p>I serramenti non garantiscono gli standard di trasmittanza richiesti da normativa, neanche quelli in alluminio con vetrocamera. Comportano quindi un'eccessiva trasmissione del calore verso l'ambiente esterno.</p>

Assenza di isolamento delle pareti esterne		<p>In base ai rilievi ed ai calcoli effettuati, i valori di trasmittanza corrispondenti agli elementi edilizi che compongono le pareti verticali risultano mediamente elevati. Ciò comporta perdite di calore in inverno ed eccessivo riscaldamento in estate.</p> <p>E' opportuno prevedere la coibentazione dall'esterno delle pareti.</p>
Presenza di ponti termici		<p>I ponti termici sono punti di discontinuità delle caratteristiche termiche negli elementi edilizi e costituiscono una via privilegiata per gli scambi di calore da e verso l'esterno.</p> <p>L'unica soluzione per l'abbattimento dei PT consiste nella realizzazione di un cappotto esterno.</p>
Scarso isolamento del tetto		<p>Anche i valori di trasmittanza delle coperture dell'edificio scolastico risultano elevati. Ciò comporta perdite di calore in inverno ed eccessivo riscaldamento in estate. E' opportuno prevedere la coibentazione della copertura dall'esterno.</p> <p>Si è notato infatti che all'ultimo piano il numero degli elementi dei radiatori è maggiorato rispetto a quello dei piani inferiori, probabilmente per rispondere alla perdita di calore attraverso il tetto.</p>
Scarso isolamento del basamento		<p>Lo scarso isolamento del basamento e dell'intero piano possono causare infiltrazioni di acqua, umidità e muffa e consentono delle forti dispersioni.</p>

Impianto termico		Le caldaie sono a gasolio e presentano dei rendimenti piuttosto bassi. Si valuta l'ipotesi di convertire l'impianto a Gas metano con caldaie a condensazione.
Regolazione		Non è presente una regolazione basata sulle caratteristiche microclimatiche di ciascuna aula, questo comporta un eccessivo riscaldamento degli ambienti, che non tiene in conto degli apporti gratuiti delle persone, delle luci.. Non permette inoltre la regolazione manuale all'interno delle aule, se non attraverso l'apertura di finestre.
Superficie disperdente trasparente elevata		La quantità di superficie trasparente è elevata, in confronto con la superficie opaca che comporta una trasmittanza più elevata delle superfici vetrate rispetto a quelle opache con un maggiore scambio di calore verso l'esterno.
Schermature solari e controllo luminoso		Si rileva un problema di forte irraggiamento solare nelle aule esposte a sud-est; se questo consente buoni apporti solari nei mesi invernali, d'altro canto determina un eccessivo riscaldamento degli ambienti nei mesi estivi, oltre all'eccessiva illuminazione naturale e conseguenti problemi di riverbero. Si consiglia l'installazione di schermature esterne a lamelle mobili, soluzione decisamente più efficiente rispetto alle veneziane interne attualmente in uso.
Assenza di un sistema di Building Automation		Durante il sopralluogo si è riscontrata la mancanza di un sistema di Building Automation. Il sistema di Building Automation di

		attivare e regolare in automatico tutti quei servizi che normalmente sono già forniti ma non integrati (illuminazione artificiale, climatizzazione,...)
--	--	---

*Tabella 5 - Problematiche riscontrate nel sistema edificio - impianto*



## 4. Analisi energetica dell'edificio

Per individuare il potenziale di miglioramento dell'involucro edilizio e il conseguente risparmio ottenibile mediante interventi su muratura e impianti si procede alla costruzione di un modello base che rappresenta l'edificio nella sua condizione attuale. Sulla base delle analisi delle criticità del sistema edificio-impianto, si realizzano dei nuovi modelli dell'edificio che permettono di simulare un intervento migliorativo tra quelli identificati come più urgenti.

Questa azione è fondamentale per potere poi determinare rapporto tra costo dell'investimento iniziale, beneficio apportato in termini di risparmio energetico e tempi di rientro degli investimenti

Per la costruzione del modello si è fatto uso del programma di progettazione termotecnica Edilclima EC 601 (v. 7.4.1), che utilizza gli algoritmi della norma UNI TS 11300.

Il primo passo è la ricostruzione dell'involucro dell'edificio: si determinano le stratigrafie dei muri e dei solai e le caratteristiche dei componenti finestrati (telaio e vetri); si ottengono, dunque, le trasmittanze di ogni singolo elemento. Per ogni elemento viene indicata la superficie, distinta a seconda dell'orientamento. Conoscendo le temperature di progetto è quindi possibile determinare la potenza dell'edificio e di definire contestualmente come le dispersioni di calore si distribuiscono attraverso l'involucro.

In secondo luogo vengono definite le grandezze che consentono di calcolare gli apporti gratuiti e le dispersioni dovute alla ventilazione.

Il comportamento dell'edificio durante la stagione di riscaldamento viene poi simulato, prendendo in considerazione i parametri dell'impianto termico legati alla produzione, alla distribuzione alla emissione ed alla regolazione del calore.

La valutazione delle prestazioni energetiche di ogni singolo edificio è stata effettuata attraverso il calcolo di alcuni indicatori di efficienza energetica:

- domanda totale di energia per riscaldamento invernale per  $\text{m}^3$  di volume riscaldato ( $\text{kWh}/\text{m}^3$ ) confrontata con i corrispondenti valori definiti dalla attuale normativa vigente;
- consumo teorico per  $\text{m}^3$  di volume riscaldato ( $\text{kWh}/\text{m}^3$ );
- la distribuzione delle dispersioni attraverso l'involucro.

Come ultima fase si procede alla validazione dei risultati ottenuti, calibrando il modello sui dati di consumo reale, opportunamente interpretati. Infine vengono predisposti gli interventi di migliorie delle strutture e degli impianti, con la quantificazione dei consumi associati alle nuove condizioni e la valutazione dei relativi risparmi.

I risultati del modello che simula il comportamento energetico dell'edificio, dal punto di vista termico, sono messi a confronto con i valori limite di fabbisogno energetico per il riscaldamento per le nuove costruzioni e definiti dalla DELIBERAZIONE DEL CONSIGLIO REGIONALE n. 98-1247 11 gennaio 2007 (Stralcio di Piano per il riscaldamento ambientale e il condizionamento) della Regione Piemonte e dal DGR 46-11968 del 2009.

### 4.1.1 Analisi dei consumi

I consumi sono stati valutati tramite l'analisi dei dati forniti dall'Ufficio Ambiente. Il seguente schema riassuntivo presenta l'andamento dei consumi negli ultimi anni e i consumi specifici risultanti dall'inserimento di interventi migliorativi che vanno a modificare il sistema edificio - impianto.

#### 4.1.1.1 Consumi termici

Andamento annuo

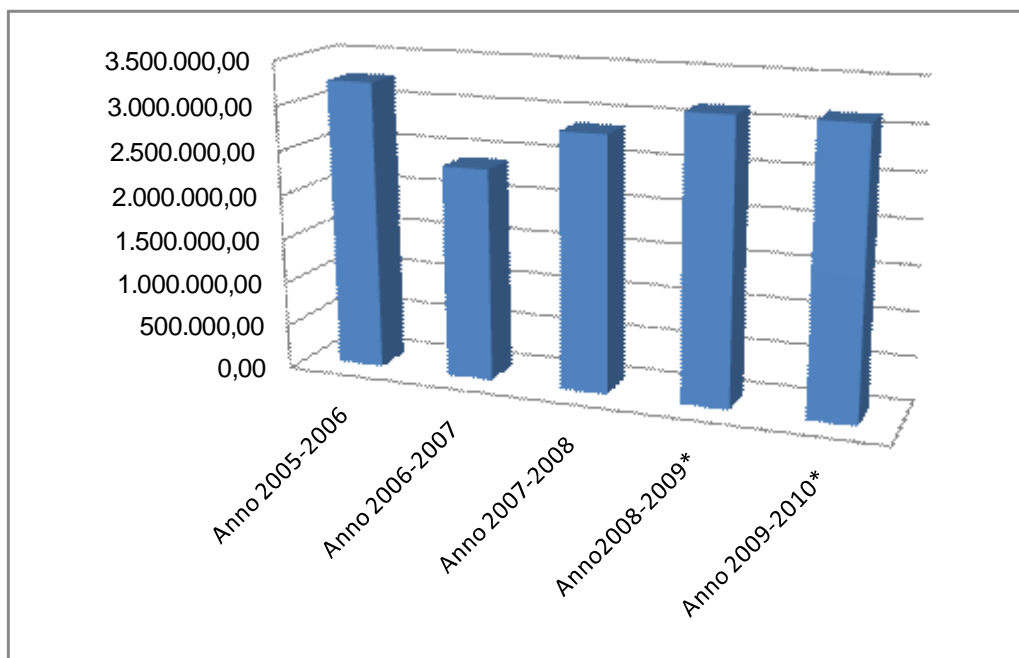


Figura 15 - Consumi di energia primaria per la funzione di climatizzazione invernale

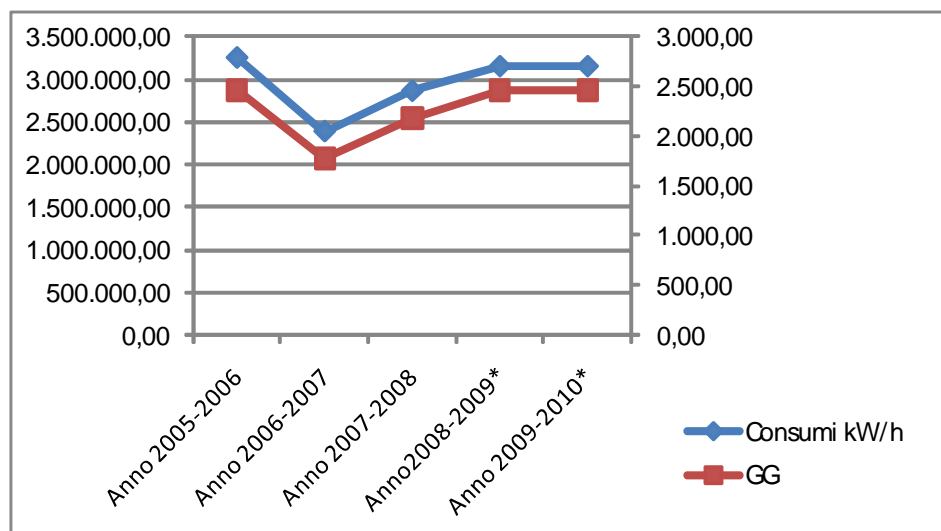


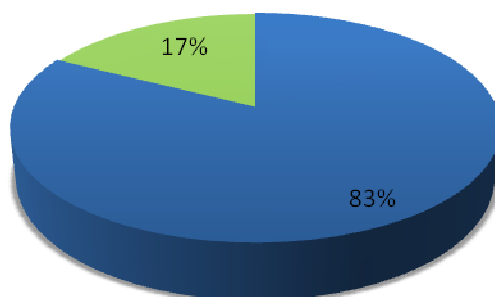
Figura 16 - Andamento Consumi di energia primaria per il riscaldamento e GG

Si può notare una corrispondenza tra i GG riscontrati e l'andamento dei consumi; nonostante un incremento dei consumi molto più accelerato rispetto all'andamento dei gradi giorno; è da considerare però che i gradi giorno forniti utilizzati per la modellazione del 2009, non sono quelli reali, ma quelli ricavati dalla norma UNI 10349.

Riportiamo di seguito dei grafici che sintetizzano quali sono i motivi e le cause di dispersione dell'edificio.

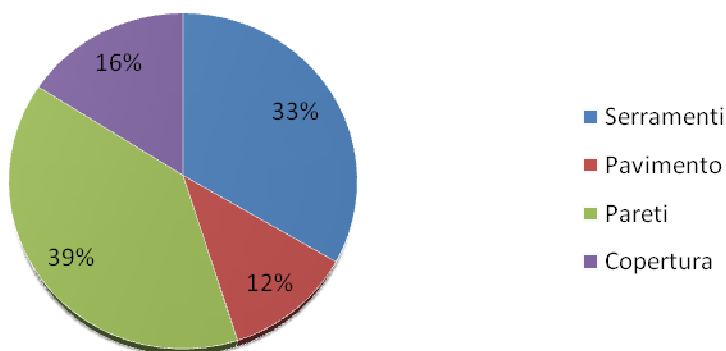


■ Dispersioni ■ Ventilazione



*Figura 17 - Rapporto perdite dispersioni - ventilazione*

In questo edificio le perdite per ventilazione rappresentano l'8% rispetto alle perdite complessive che avvengono attraverso l'involucro opaco o trasparente, il basamento e la copertura.



*Figura 18 - Perdite di calore in percentuale attraverso le strutture*

Dalla figura 19 si evince che le maggiori dispersioni sono dovute ai serramenti e alle pareti..

Oltre alle dispersioni per ventilazione e per trasmissioni, ci sono delle perdite di calore dovute al surriscaldamento delle aule e al conseguente ricambio d'aria ad opera degli studenti.

Questo dato non può emergere dai risultati del modello, ma è stato verificato durante il sopralluogo e confermato da tutte le persone che ci hanno guidato attraverso gli edifici.

Il problema è sempre lo stesso: le aule sono troppo calde, soprattutto quelle all'ultimo piano, in cui è stato potenziato il riscaldamento per contrastare le perdite attraverso la copertura; non essendo presente un sistema di regolazione, gli utenti finali, ragazzi ed insegnanti, si vedono costretti ad aprire le finestre nonostante il funzionamento dei radiatori.

## 5. Proposta di interventi migliorativi

Gli interventi migliorativi proposti sono stati ipotizzati in base alle criticità riscontrate, in riferimento alle percentuali con cui si configuravano le perdite per dispersione.

### 5.1 Intervento 1 - Sostituzione serramenti

	Intervento	Descrizione intervento	Superficie coinvolta [m <sup>2</sup> ]	U nuova [W/m <sup>2</sup> K]	U limite [W/m <sup>2</sup> K]
Intervento 1	Sostituzione serramenti	L'intervento prevede la sostituzione di tutte le finestre dell'edificio con serramenti in alluminio a taglio termico con vetrocamera basso emissivi. Per ottenere le migliori prestazioni termiche i isolanti dei serramenti è necessario che l'installazione sia eseguita a regola d'arte riducendo il più possibile il ponte termico fra il telaio del serramento e la parete esterna	2.829	1,7	1.8

Tabella 6 - interventi migliorativi

### 5.2 Intervento 2 - Coibentazione del tetto

	Intervento	Descrizione intervento	Superficie coinvolta [m <sup>2</sup> ]	U nuova [W/m <sup>2</sup> K]	U limite [W/m <sup>2</sup> K]
Intervento 2	Coibentazione delle pareti	L'intervento prevede l'applicazione di lastre di polistirene espanso, estruso con pelle (M.V. = 30 Kg/mq; $\lambda = 0,036$ W/mk) da 10 cm. È prevista anche l'applicazione di un manto impermeabilizzante. L'intervento garantisce, in media, la rispondenza dei valori limite di trasmittanza definiti dalla normativa regionale.	4.185	0,26	2.4

Tabella 7 - interventi migliorativi

### 5.3 Intervento 3 - Caldaia a condensazione + valvole termostatiche

	Intervento	Descrizione intervento	Superficie coinvolta [m <sup>2</sup> ]	U nuova [W/m <sup>2</sup> K]	U limite [W/m <sup>2</sup> K]
Intervento 4	Caldaia a condensazione + valvole termostatiche	L'intervento prevede la sostituzione delle caldaie esistenti a gasolio con caldaie a condensazione a gas metano che garantiscono rendimenti maggiore con conseguente risparmio di energia e minor inquinamento. Inoltre per migliorare ulteriormente l'efficienza del sistema di riscaldamento vengono installate su ogni terminale di erogazione	5060,54	rendimento	//

Tabella 8 - interventi migliorativi

### 5.4 Intervento 4 - Installazione valvole termostatiche

	Intervento	Descrizione intervento	Superficie coinvolta [m <sup>2</sup> ]	U nuova [W/m <sup>2</sup> K]	U limite [W/m <sup>2</sup> K]
Intervento 5	Installazione di valvole termostatiche	Per migliorare l'efficienza dell'impianto termico occorre installare delle valvole termostatiche su ogni terminale di erogazione, migliorando anche il comfort abitativo in ogni singola stanza.	184 corpi scaldanti	//	//

Tabella 9 - interventi migliorativi

### 5.5 Intervento 5 - Building Automation

	Intervento	Descrizione intervento	Superficie coinvolta [m <sup>2</sup> ]	U nuova [W/m <sup>2</sup> K]	U limite [W/m <sup>2</sup> K]
Intervento 6	Building Automation	il progetto di Building Automation prevede di integrare il controllo della temperatura e dell'umidità mediante l'applicazione di sensori di temperatura e di umidità nelle singole aule e del sistema di controllo luminoso mediante l'applicazione di sensori di luce e rilevatori di attività/presenza umana all'interno dell'aula stessa. Consentirà inoltre di disattivare la climatizzazione nel singolo ambiente qualora i serramenti siano aperti.	//	//	//

Tabella 10 - interventi migliorativi

Il sistema di Building Automation consente di ridurre gli sprechi legati ad una gestione ed ad un uso non ottimale delle utenze elettriche e termiche, che in un edificio scolastico sono notevoli.

Si propone pertanto un sistema di Building Automation in grado di gestire in modo intelligente la temperatura, l'illuminazione e l'umidità relativa dei locali dell'istituto.

La soluzione proposta prevede una dorsale di interpiano cablata che collega gli apparati di piano.

Tali apparati saranno interconnessi in modo wireless con i sensori di temperatura, umidità e di illuminazione presenti sui singoli piani.

Le funzionalità implementate dal sistema di Building Automation sono descritte nelle seguenti sezioni.

#### 5.5.1 Gestione e controllo clima, riscaldamento e raffrescamento

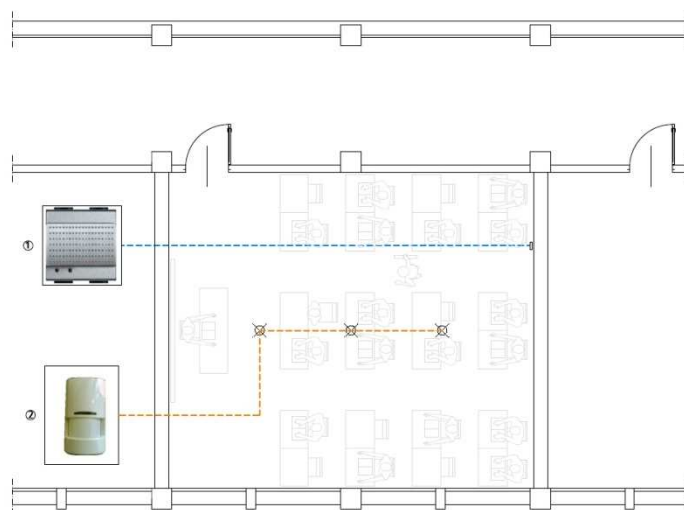
Attraverso il sistema di building automation il progetto prevede il controllo della temperatura e dell'umidità a livello di piano o di singole aule mediante l'applicazione di sensori di temperatura e di umidità relativa; nel primo caso vengono installati in punti identificati significativamente descrittivi del microclima del piano, nel secondo caso invece vengono installati in ciascun'aula.

Il sistema gestirà le valvole motorizzate di piano che andranno a regolare la portata di acqua calda in mandata. Nel secondo caso gestirà le valvole termostatiche in ciascuna aula e inoltre consentirà di disattivare la climatizzazione nel singolo ambiente qualora i serramenti siano aperti.

#### 5.5.2 Gestione dell'illuminazione artificiale

Il servizio "zona/locale ON" offerto dal sistema di building automation e applicato alle singole aule e ai locali di servizio, permetterà di modulare l'accensione dei corpi illuminanti in base alla fascia oraria o a eventuali criteri stabiliti con la committenza.

Riportiamo di seguito uno schema esemplificativo della distribuzione attraverso l'edificio e uno zoom su una singola aula e un'analisi dei benefici apportati dal sistema tecnologico.



*Figura 19 - Applicazione su aula tipo*

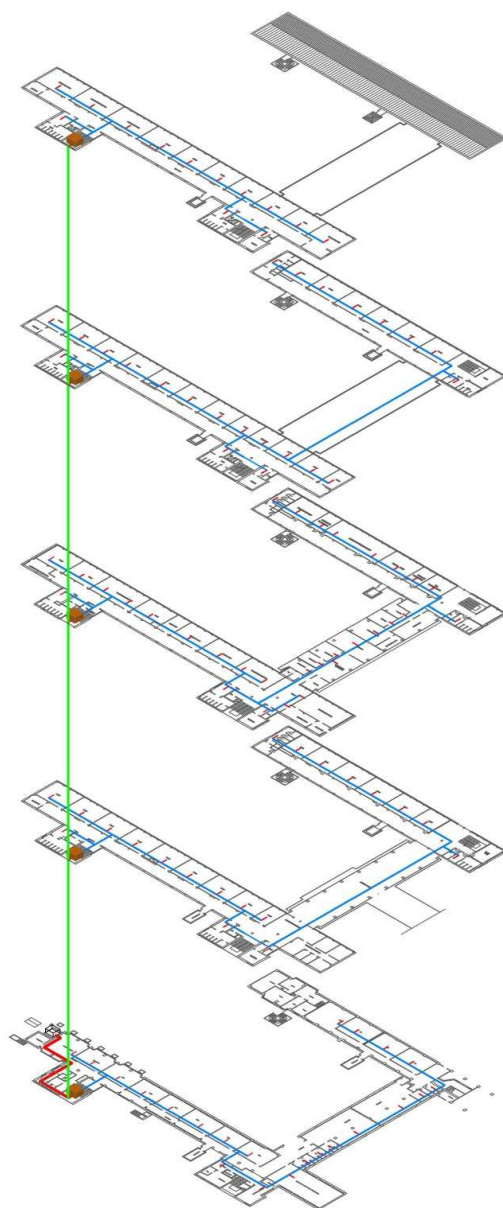


Figura 20 - Schema distributivo edificio

	Energia termica [kWh/m <sup>3</sup> anno]	Energia termica risparmiata [kWh/m <sup>3</sup> anno]	%	Co <sub>2</sub> Risparmiata [Kg/anno]
Building Automation Gestione temperatura	57,24	6,36	10,00	748.768,10

Tabella 11 - riepilogo consumi e risparmi di energia primaria post intervento

	Energia elettrica [kWh]	Energia elettrica risparmiata [kWh]	%
<b>Building Automation gestione illuminazione</b>	126.913,54	31.728,38	20,00

Tabella 12 - riepilogo consumi e risparmi elettrici post intervento

## 5.6 Intervento 6 - Impianto illuminazione

Per quanto riguarda invece l'impianto di illuminazione, si può dimostrare che solo con la semplice sostituzione delle lampadine, con lampade a Led che garantiscano gli stessi Lumen, si possano dimezzare i consumi e di conseguenza i costi.

	Consumo [W]	Lampade per aula	Lampade altri spazi	orario utilizzo [h]	Consumi [kW/h]	Consumi annuali [kW/h]	n° aule	Consumi annuali aule [kW/h]	Consumi annuali altri spazi [kW/h]	Consumi tot [kW/h]	Costo per kW/h [€]	Costo totale giornaliero [€]	Costo totale annuale [€]
Lampade fluorescenza	36,00	20,00	600,00	8,00	5,76	1.687,68	64,00	108.011,52	50.630,40	158.641,92	0,12	19.037,03	6.948.516,10
Lampade Led	18,00	20,00	600,00	8,00	2,88	843,84	64,00	54.005,76	25.315,20	79.320,96	0,12	9.518,52	3.474.258,05

Tabella 13 - Consumi elettrici imputabili a illuminazione

	Energia elettrica [kWh]	Energia elettrica risparmiata [kWh]	%
<b>Sostituzione corpi illuminanti</b>	57.381,00	57.381,00	50,00

Tabella 14 - riepilogo consumi e risparmi elettrici post intervento

## 6. Conclusioni

Nella Tabella 15, vengono riportate gli effettivi benefici che gli interventi possono apportare alla sistema edificio - impianti, in termini di energia primaria e CO<sub>2</sub>, parametri significativi anche negli attestati di certificazione energetica.

	Energia primaria utilizzata per climatizzazione [kWh/m <sup>3</sup> anno]	Eph risparmiato [kWh/m <sup>3</sup> anno]	%	Co <sub>2</sub> Risparmiata [Kg/anno]
Sostituzione infissi	51,70	11,90	18,71	156.488,57
Sostituzione valvole termostatiche	52,70	10,90	17,14	143.612,93
caldaia a condensazione + valvole termostatiche	47,00	16,60	26,10	360.022,76
Coibentazione coperture	59,40	4,20	6,60	55.464,30
Building Automation gestione temperatura	57,24	6,36	10,00	748.768,10

Tabella 15 - riepilogo consumi e risparmi di energia primaria per la funzione di climatizzazione invernale post intervento

	Energia elettrica [kWh]	Energia elettrica risparmiata [kWh]	%
Building Automation gestione illuminazione	126.913,54	31.728,38	20,00
Sostituzione corpi illuminanti	79.320,96	79.320,96	50,00

Tabella 16 - riepilogo consumi e risparmi elettrici post intervento

La Figura 21 - mostra l'andamento dei consumi in funzione dell'intervento adottato, a valori inferiori corrispondono minori consumi per la climatizzazione

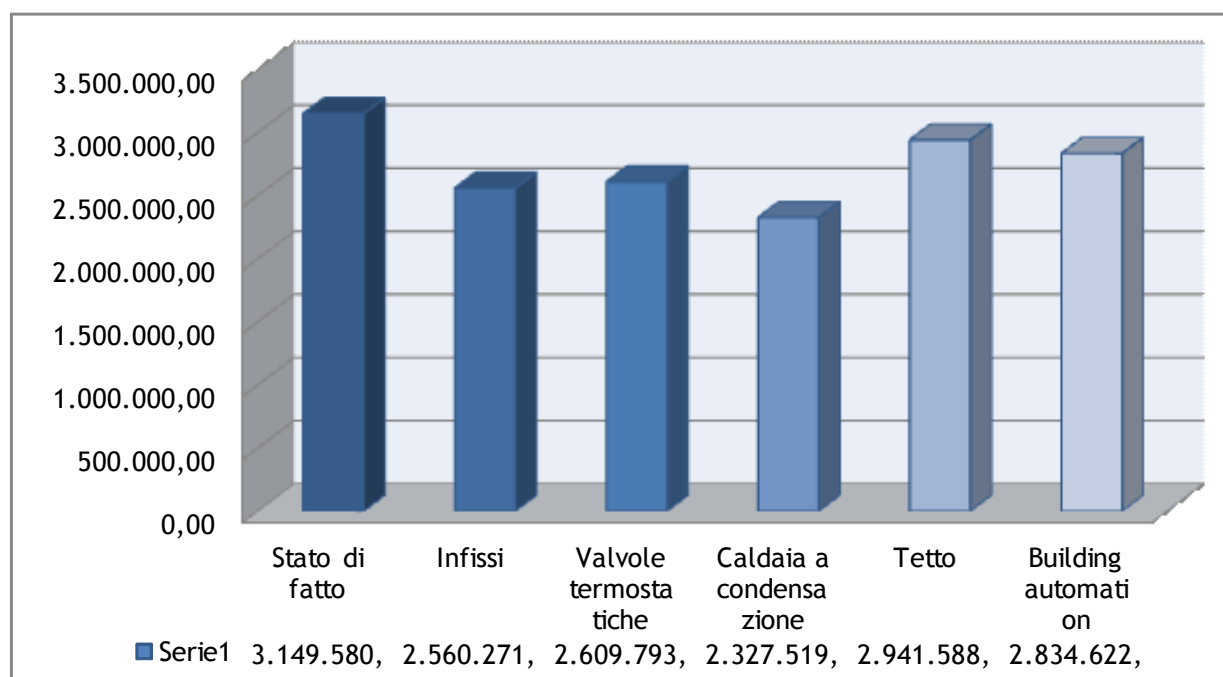


Figura 21 - Andamento dei consumi di energia primaria post intervento

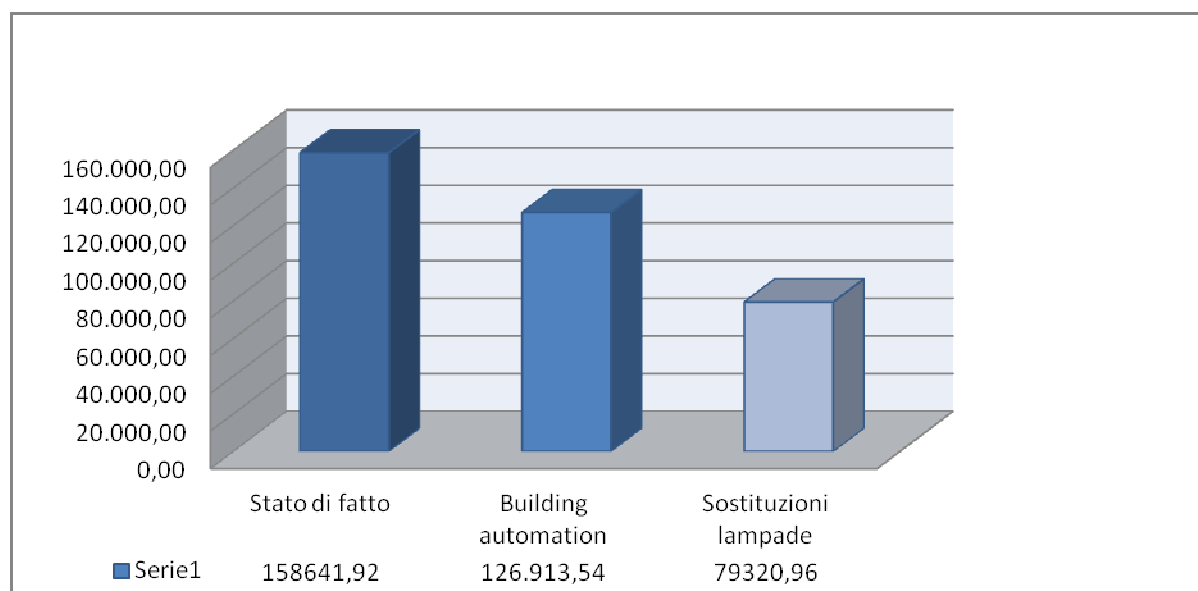


Figura 22 - Andamento dei consumi elettrici post intervento

La Figura 23 mostra l'andamento del risparmio in energia primaria annuo in funzione dell'intervento adottato, più è alto il valore e maggiore è il risparmio.



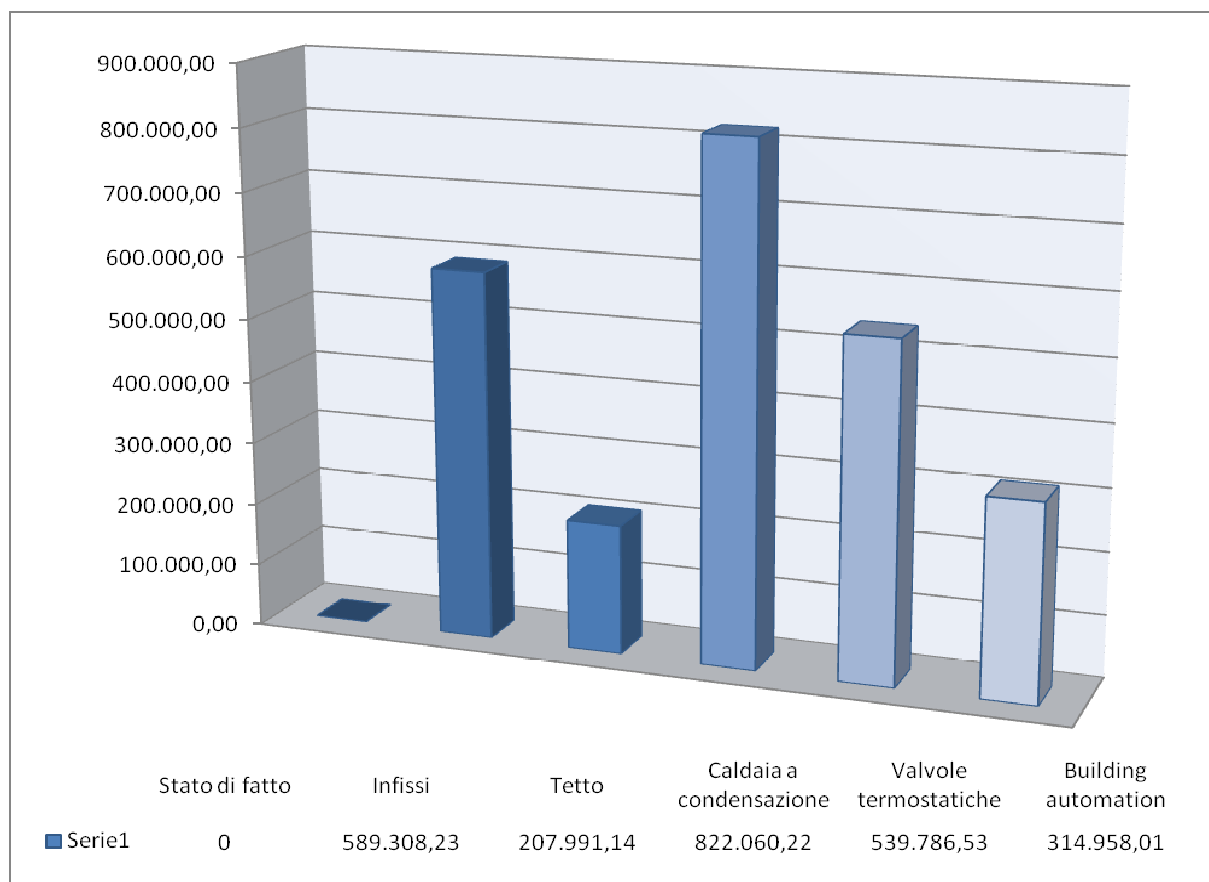


Figura 23 - kWh di energia primaria per la funzione riscaldamento risparmiati

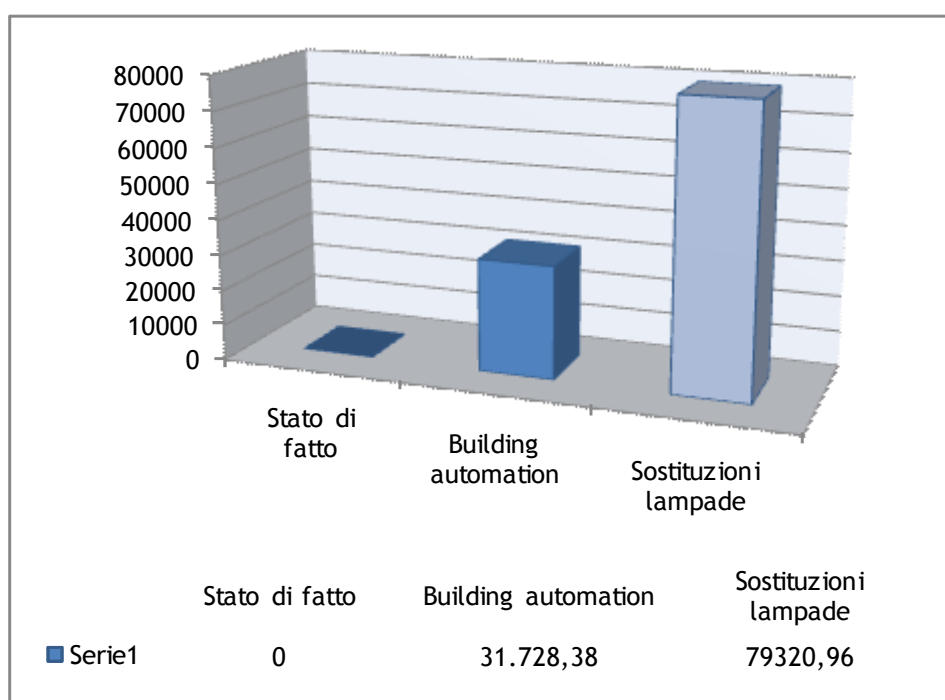


Figura 24 - kWh elettrici risparmiati

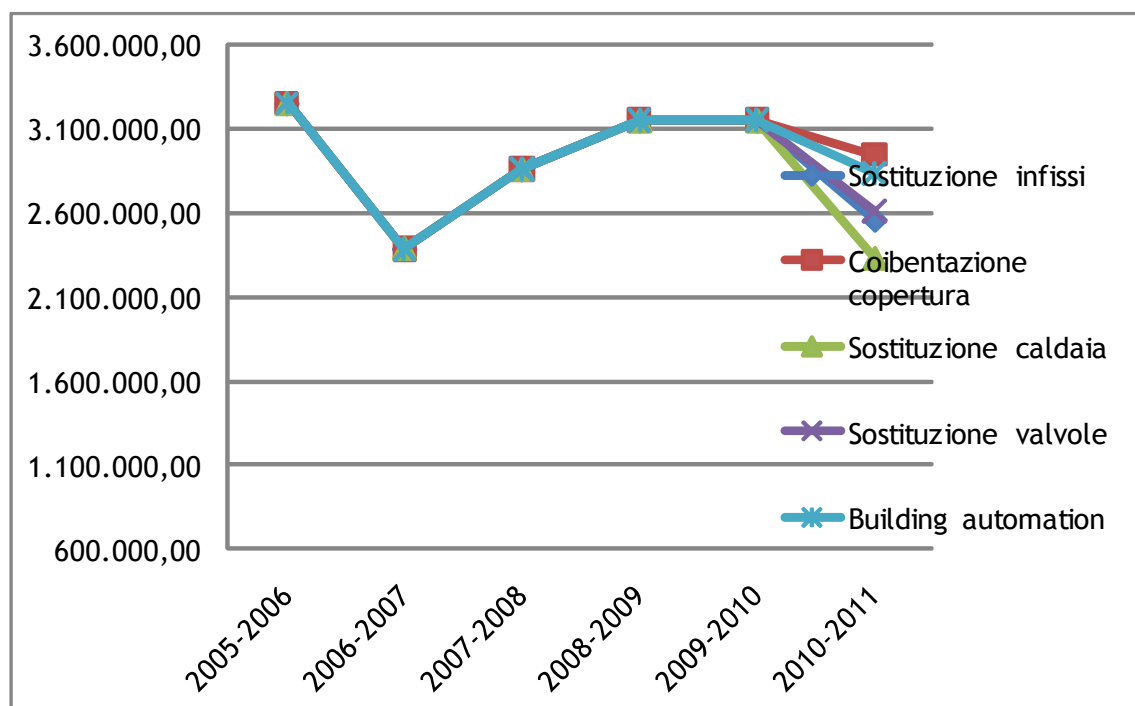


Figura 25 - Andamento dei consumi con interventi migliorativi

Nella Figura 25 sono riportati gli andamenti dei consumi dal 2005, con l'inserimento dell'anno 2010-2011, in cui sono stati inseriti tutti gli interventi migliorativi; si può dedurre che gli interventi portano tutti ad una riduzione dei consumi di energia primaria di circa 20 kWh.

## 6.1 Analisi costi/benefici degli interventi proposti

### 6.1.1 Interventi sistema Edificio - Impianti

Per gli interventi è stata svolta un'analisi costi/benefici.

Di seguito è riportata la descrizione degli interventi, comprensiva di dettagli sui costi. Le voci di costo e i prezzi associati sono ricavati dal Prezziario delle Opere Pubbliche della Regione Piemonte, aggiornato al 2010. In tabella sono riportati i prezzi unitari (per pezzo o m<sup>2</sup>), la superficie totale coinvolta (m<sup>2</sup>) o i pezzi totali utilizzati. I costi sono da considerarsi indicativi e focalizzati sull'intervento di riqualificazione energetica.

Per l'analisi dei costi - benefici apportati dall'installazione di un sistema di building automation, abbiamo ipotizzato in base alle nostre esperienze pregresse una riduzione dei costi energetici variabili tra l'8% e 12%; per riuscire a definire la distribuzione di questa percentuale sui costi di consumi termici o elettrici, la stima è più complessa ed andrebbero affrontati ulteriori approfondimenti riguardanti soprattutto l'impianto elettrico esistente.

Abbiamo deciso quindi di far ricadere tutti i benefici sui consumi termici, che in Italia sono più vantaggiosi rispetto a quelli elettrici a causa del costo del vettore termico, prendendo in considerazione, mantenendo quindi una posizione conservativa.

La soluzione wireless consente un significativo risparmio economico e al tempo stesso un'elevata modularità delle soluzioni proposte.

È da tenere sempre presente che la Provincia di Novara ha stanziato € 150.000,00 complessivi per la riqualificazione energetica di 3 strutture scolastiche, pertanto sono da valutare gli interventi con il rapporto costi/benefici più alto.

	Voci Costo	Prezzo [€/m <sup>2</sup> ]/ pezzo	m <sup>2</sup>	Totale
Sostituzione dei serramenti (U=1,7)	Rimozione Fornitura Posa	€ 320,00	2829	€ 905.280,00
Installazione valvole termostatiche	Fornitura e Posa	€ 70,00	226	€ 15.820,00
Sostituzione caldaia a gasolio con caldaia a condensazione	Fornitura e installazione	€ 120.000,00	//	€ 120.000,00
Coibentazione coperture	Fornitura e Posa	€ 40,00	4185	€ 167.400,00
Building Automation	Fornitura e installazione	//	//	€ 24.000,00
Sostituzione corpi illuminanti	Fornitura e installazione	€ 57,00	1880	€ 107.160,00

Tabella 17 - Analisi dei costi

Nella tabella che segue, per ciascun intervento sono indicati:

- I costi totali relativi a ciascun intervento;
- Risparmio economico annuo dovuto al combustibile risparmiato, calcolato a partire dai kg di gasolio risparmiati e dal prezzo medio unitario pari a 0,7 €/m<sup>3</sup> e dal prezzo medio unitario pari 0,94 €/kg;
- Tempo di ritorno dell'investimento attualizzato, considerando una percentuale di aumento del prezzo dell'energia pari al 4%/anno ed un tasso di attualizzazione del costo del denaro pari al 3%;
- Il risparmio ottenuto.

	Consumi gas metano		Risparmio fornitura gasolio		Risparmio energia elettrica		Costo intervento	€ risparmiato
	m <sup>3</sup> /anno	[€/anno]	kg/anno	[€/anno]	kWh/anno	[€/anno]		
Sostituzione dei serramenti (U=1,7)			49.870,00	€ 46.877,80	0,00	€ 0,00	905.280,00	€ 46.877,80
Installazione valvole termostatiche			45.797,00	€ 43.049,18	0,00	€ 0,00	15.820,00	€ 43.049,18
Sostituzione caldaia a gasolio con caldaia a condensazione	245.539,00	171.877,30	265.397,00	€ 249.473,18	-2.867,00	-€ 344,04	120.000,00	€ 77.251,84
Coibentazione copertura			17.772,00	€ 16.705,68	0,00	€ 0,00	167.400,00	€ 16.705,68
Building Automation			26.539,70	€ 24.947,32	31.728,38	€ 3.807,41	24.000,00	€ 2.754,72
Sostituzione corpi illuminanti					79.320,96	€ 9.518,52	107.160,00	€ 16.879.249,20

Tabella 18 - Rapporto costi benefici

Si può notare come tutti gli interventi comportino un risparmio sulla fornitura di gasolio tranne la sostituzione dei corpi illuminanti che va ad influire solo sui consumi elettrici.

L'intervento di building automation assicura un risparmio sia sulla fornitura di gasolio sia sulla fornitura di energia elettrica, poiché una parte dell'automazione va a controllare la temperatura dei locali, mentre un'altra va a regolare il sistema di illuminazione; in ogni caso i risparmi garantiti attraverso la gestione della regolazione sono dieci volte maggiori a quelli ottenuti sui consumi elettrici. Per edifici scolastici, infatti, i consumi dovuti al riscaldamento incidono su un 70% dei consumi totali dell'edificio, mentre quelli elettrici solo un 30%.

Un caso diverso è quello della sostituzione della caldaia esistente con una caldaia a gas metano che, a parità di produzione di calore, ha dei costi economici inferiori e produce una minore quantità di gas inquinanti.

Viene presentato il flusso di cassa di ciascun intervento calcolato su un arco di tempo di dieci anni, intervallo di tempo utile per ritenere significativi i benefici di un investimento.

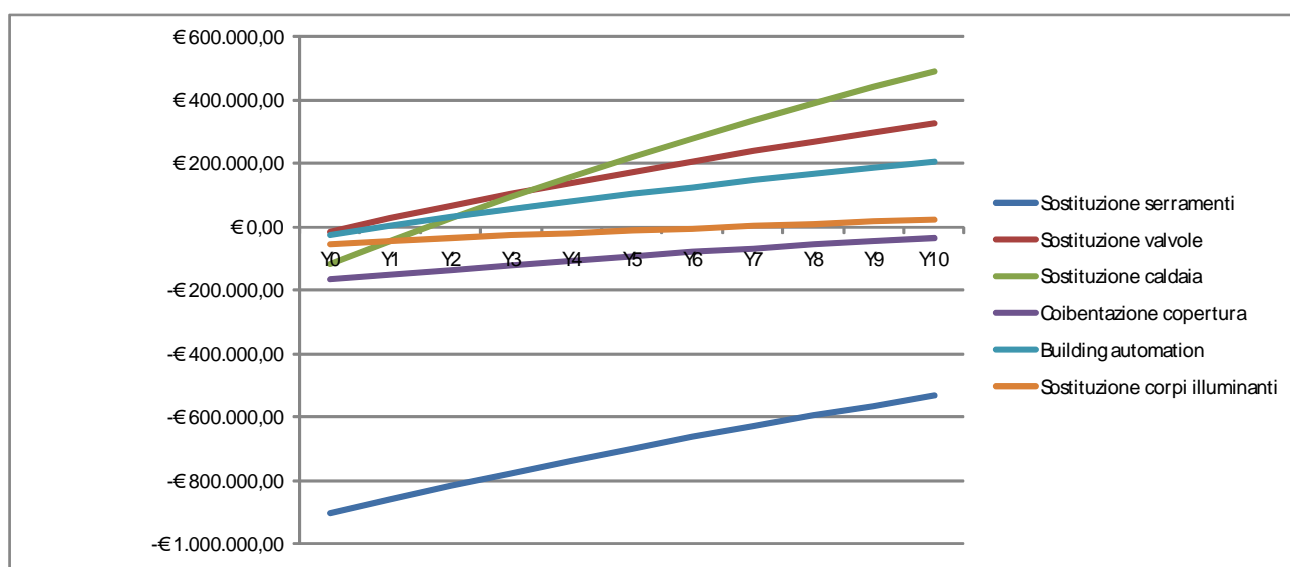


Figura 26 - Flusso di cassa attualizzato per i vari interventi.

Dal grafico si evince che gli interventi proposti si dividono in cinque classi:

#### Classe A:

- ❑ Sostituzione della caldaia e installazione valvole termostatiche

L'investimento iniziale dell'intervento è notevole, si avvicina ai 200.000€, ma nell'arco di 2 anni si viene ripagati dell'investimento e si ha un risparmio che cresce negli anni in maniera decisamente maggiore rispetto agli altri interventi.

È da tenere in considerazione che la curva del risparmio in realtà dopo alcuni anni diventerà meno ripida, poiché subentreranno perdite di efficienza proprie di tutte le macchine.

#### Classe B:

- ❑ Building Automation
- ❑ Sostituzione valvole termostatiche

L'investimento iniziale di questi interventi è sicuramente più modesto e già nell'arco di del primo anno si rientra dell'investimento, ma i guadagni sono più limitati nel tempo rispetto alla sostituzione della caldaia.

**Classe C:**

- ❑ Sostituzione corpi illuminanti

L'investimento iniziale risulta maggiore e maggiore è il tempo di rientro dell'investimento che si ripaga solamente in 8 anni, lasso di tempo troppo lungo.

**Classe D:**

- ❑ Coibentazione copertura

L'investimento è elevato, attorno ai 200.000€ e i tempi di ritorno non sono assolutamente vantaggiosi. A differenza dell'isolamento a cappotto di cui non è possibile stimare i costi accessori, per questo intervento, l'importo indicato può ritenersi molto vicino a quello finale poiché non necessita di strutture di ponteggio, se non parapetti.

**Classe E:**

- ❑ Sostituzione dei serramenti

L'investimento ha un costo molto elevato, non sicuramente giustificabile dai guadagni che apporta; il tempo di rientro dell'investimento è sicuramente svantaggioso dal punto di vista economico.