

POLITECNICO DI TORINO

Facoltà di Ingegneria Edile



Tesi di Laurea Magistrale

RIQUALIFICAZIONE FUNZIONALE E ADEGUAMENTO NORMATIVO  
DELL'EDILIZIA SCOLASTICA, IL CASO DI STUDIO DELLA SCUOLA PRIMARIA  
M. BUONARROTI IN ASTI

**Relatore:**

Prof. Roberto Vancetti

**Candidato:**

Fabio Arellaro

Anno Accademico 2016/2017

*Ai miei genitori e a Cristina,*

*verso i quali non avrò mai abbastanza parole per dimostrare quanto gli sia grato per essermi sempre stati accanto e per rappresentare i miei unici punti di riferimento nella vita.*

## RINGRAZIAMENTI

*“Desidero innanzitutto ringraziare il mio relatore, il Professor Roberto Vancetti, per i preziosi insegnamenti, le critiche e le osservazioni costruttive e per le ore dedicate alla supervisione della mia tesi.*

*Inoltre, ringrazio sentitamente l’Ing. Paolo Toscano, Dirigente del Settore Lavori Pubblici ed Edilizia Pubblica del Comune di Asti, e l’Arch. Davide Monticone, funzionario dell’Ufficio Tecnico, per avermi concesso il supporto necessario, attraverso documentazione ed elaborati indispensabili per la realizzazione di questa tesi, e l’Ing. Amedeo Pappalardo, Vice Comandante DVD del Comando Provinciale VV.F. di Asti, per la disponibilità a dirimere alcuni miei dubbi.*

*Proseguo con le aziende e le società con cui ho interagito durante la stesura di questo lavoro, per avermi consigliato i prodotti e per avermi fornito le relative informazioni tecniche, in particolare: la Ratti&C. srl per l’isolamento termico a cappotto, la Cocif per i serramenti esterni, la Solar Energy Group spa per il sistema fotovoltaico e la Biasi Luciano srl, rivenditore autorizzato della Riello, per il sistema solare termico e consulenze impiantistiche.*

*Un ringraziamento particolare va a Mario, Xhuliano e Melissa per i preziosi consigli durante la preparazione della tesi, ai compagni di corso, insieme a quali ho affrontato questo percorso e che, con continui confronti, mi hanno aiutato a crescere come persona, e a tutti gli amici che hanno condiviso con me momenti ed esperienze indelebili.*

*Infine, voglio ringraziare con grande affetto le persone a me più care: i miei genitori, per il sostegno e l’enorme aiuto che mi hanno dato in tutti questi anni non facendomi mancare mai nulla e permettendomi di raggiungere ogni obiettivo che mi ero prefissato, mia sorella Cristina, per essermi stata sempre vicina in ogni istante, sostenendomi ed incoraggiandomi nei momenti di maggior bisogno, e tutti i componenti della mia famiglia per aver sempre creduto in me.”*

# INDICE

<b>INTRODUZIONE .....</b>	<b>2</b>
<b>CAPITOLO 1 L'EDILIZIA SCOLASTICA IN ITALIA .....</b>	<b>4</b>
1.1 Inadeguatezza del patrimonio edilizio scolastico.....	5
1.2 Lo spazio dell'apprendimento .....	9
1.3 Scuole del XXI secolo .....	12
1.4 Aspetti di intervento per la riqualificazione del patrimonio edilizio scolastico .....	14
1.4.1 Riqualificazione energetica.....	14
1.4.2 Messa in sicurezza .....	18
1.4.3 Riqualificazione funzionale .....	21
<b>CAPITOLO 2 CASO STUDIO: SCUOLA ELEMENTARE "M. BUONARROTI"</b>	
<b>– ANALISI STATO DI FATTO .....</b>	<b>24</b>
2.1 Identificazione dell'area .....	24
2.2 Caratteristiche costruttive.....	26
2.3 Analisi dello stato di fatto.....	28
2.3.1 Aspetti energetici.....	28
2.3.1.1 Stratigrafie e trasmittanze.....	28
2.3.1.2 Dispersioni termiche per trasmissione e ventilazione .....	33
2.3.1.3 Impianto di riscaldamento .....	39
2.3.1.4 Valutazione dei consumi .....	40
2.3.2 Aspetti strutturali.....	41

2.3.2.1	Stato conservativo della struttura.....	43
2.3.3	Aspetti non strutturali .....	44
2.3.4	Misure per la prevenzione incendi .....	49
2.3.5	Presenza di barriere architettoniche .....	51
2.3.6	Aspetti funzionali .....	53

### **CAPITOLO 3 CASO STUDIO: SCUOLA ELEMENTARE “M. BUONARROTI”**

	<b>- INTERVENTI DI RIQUALIFICAZIONE .....</b>	<b>56</b>
3.1	Interventi di riqualificazione energetica.....	56
3.1.1	Interventi sull’involucro esterno .....	56
3.1.2	interventi sugli impianti .....	66
3.1.3	Utilizzo fonti rinnovabili.....	67
3.1.4	Analisi dei risultati.....	69
3.2	Riqualificazione per la messa in sicurezza .....	70
3.2.1	Proposte di interventi strutturali.....	70
3.2.1.1	Camicie in c.a.....	74
3.2.1.2	Camicie o collari in acciaio.....	76
3.2.1.3	FRP .....	79
3.2.1.4	Pareti in c.a. ....	83
3.2.1.5	Controventi in acciaio dissipativi.....	83
3.2.1.6	Valutazioni delle opere per il miglioramento sismico.....	85
3.2.2	Interventi sugli elementi non strutturali .....	87
3.2.3	Adeguamenti per la sicurezza e prevenzione incendi .....	88
3.2.4	Adeguamenti per l’abbattimento delle barriere architettoniche .....	92
3.3	Riqualificazione funzionale.....	93

3.3.1	Adeguamento spazi esistenti e individuazione di nuovi laboratori .....	93
3.3.2	Progettazione nuova palestra.....	95
3.3.2.1	individuazione area .....	96
3.3.2.2	Caratteristiche costruttive e tecnologiche .....	96
3.3.2.3	Distribuzione funzioni interne.....	99
3.3.2.4	Collegamento scuola-palestra .....	100
3.3.2.5	Analisi finale .....	102
<b>CONCLUSIONI.....</b>		<b>103</b>
<b>BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA .....</b>		<b>105</b>
<b>ALLEGATI .....</b>		<b>107</b>



# INTRODUZIONE

L'oggetto del presente lavoro di tesi si basa su un argomento molto attuale e che coinvolge diverse tematiche: la riqualificazione del patrimonio edilizio scolastico. L'edilizia scolastica italiana, negli ultimi anni, è al centro dell'interesse governativo e dell'opinione pubblica, soprattutto alla luce di avvenimenti tragici, talvolta fatali, dovuti alla scarsa manutenzione o mancata messa in opera di procedure per la riduzione del rischio, come nel liceo C. Darwin di Rivoli (TO) nel 2008, ed a fenomeni calamitosi, come il crollo della scuola elementare durante il sisma in Molise nel 2002. Questo ha sottolineato il grave stato di obsolescenza e vetustà in cui versano gli edifici scolastici, la maggior parte dei quali è stata edificata tra il 1960 e il 1980.

Si è avviata perciò una politica di finanziamenti economici volta alla riqualificazione del patrimonio edilizio scolastico per adeguare i fabbricati agli standard e ai livelli prestazionali attuali imposti dalle normative vigenti. Ciò si concretizza attraverso interventi che riguardano la messa in sicurezza dei componenti strutturali, non strutturali e impiantistici, l'adeguamento normativo per la sicurezza antincendio e per l'abbattimento delle barriere architettoniche, la riqualificazione energetica e l'adeguamento funzionale. Quest'ultimo aspetto, fino a pochi anni fa, è sempre stato sottovalutato, ma l'evoluzione della didattica, a livello metodologico e tecnologico, ha reso necessario l'adeguamento degli spazi per le attività che si svolgono all'interno della scuola.

In questo elaborato viene preso in considerazione, a titolo esemplificativo, un edificio ospitante una scuola primaria della città di Asti, la scuola elementare M. Buonarroti, che rappresenta una tipologia tipica di edificio scolastico presente sul territorio nazionale. Di questo fabbricato si analizzano tutte le problematiche che lo

coinvolgono, sotto i diversi aspetti che lo hanno reso, e tutt'ora rendono, obsoleto e talvolta pericoloso per gli occupanti, e progettati interventi per garantire la sicurezza ed il benessere delle persone, per lo più bambini, che vi trascorrono molte ore all'interno.

Nella prima parte viene fatta una panoramica generale dello stato in cui verte il patrimonio edilizio scolastico italiano e vengono valutati statisticamente i disagi maggiori che lo riguardano, sia da un punto di vista della sicurezza che da quello funzionale. Successivamente si analizza lo sviluppo ed il progresso della didattica, negli ultimi anni, e di come essa influisca sugli spazi fisici di una scuola. Si esaminano, infine, gli aspetti e gli interventi necessari per garantire il benessere e la salvaguardia delle vite degli occupanti, nonché la conservazione dell'edificio stesso.

La seconda parte si fonda sul caso studio della scuola primaria M. Buonarroti della quale viene realizzata un'analisi dello stato di fatto sotto il profilo energetico, della sicurezza strutturale e antincendio, dell'accessibilità e delle dinamiche interne. I dati sono stati raccolti attraverso elaborati grafici e tecnici forniti dagli uffici tecnici del Comune di Asti e attraverso sopralluoghi presso l'edificio.

Nella terza ed ultima parte, facendo riferimento ai dati analizzati nel capitolo precedente e in base alle normative vigenti, si progettano interventi di riqualificazione per il miglioramento dell'efficienza energetica, per la sicurezza antisismica e antincendio, per l'abbattimento delle barriere architettoniche e per migliorare le funzionalità della scuola. In ambito funzionale viene progettata, a livello preliminare, un ampliamento, all'interno del quale verrà collocata una palestra per l'attività fisica degli allievi e di società sportive esterne.

# CAPITOLO 1

## L'EDILIZIA SCOLASTICA IN ITALIA

L'edilizia scolastica nel nostro Paese rappresenta una vera e propria emergenza nazionale. Lo stato e la qualità degli edifici scolastici di un territorio rappresentano un indicatore di quanto una comunità investa nel benessere, la sicurezza e la formazione dei cittadini più giovani.

Le competenze in materia di edilizia scolastica spettano agli Enti locali, che devono operare alla riqualificazione del patrimonio anche attraverso l'erogazione di finanziamenti da parte dello Stato. Nel tempo, questo trasferimento di risorse è stato molto esiguo e insufficiente rispetto al bisogno reale; bisogno ancora oggi non quantificabile finché non sarà terminata l'anagrafe scolastica, cioè il censimento di tutti gli edifici scolastici, iniziato nel 1996 ed ancora non terminato.

L'indagine conoscitiva sull'edilizia scolastica in Italia, deliberata dalla VII Commissione della Camera dei deputati il 4 luglio 2013, alla luce delle preoccupanti notizie e informazioni che giungevano sempre più frequentemente sulla situazione in cui versavano gli edifici scolastici nel Paese, si è tenuta coinvolgendo sia soggetti istituzionali a livello governativo, sia rappresentanti di enti territoriali e altri autorevoli soggetti, pubblici e privati, che hanno apportato il loro contributo.

L'indagine ha evidenziato non solo gli interventi necessari per la messa in sicurezza delle scuole (intonaci che crollano, rubinetti che perdono e vetri rotti) ma anche seri problemi strutturali. I dati raccolti ed analizzati dall'istituto di ricerca del Censis, nel maggio del 2014, hanno evidenziato il fatto che dei circa 42.000 edifici scolastici statali, in 24.000 gli impianti (elettrici, idraulici, termici) non funzionano, sono insufficienti o non sono a norma e in 7.200 edifici occorrerebbe rifare tetti e coperture. Sono 3.600 le sedi che necessitano di interventi sulle strutture portanti e 2.000 le scuole che espongono i loro 342.000 alunni al rischio amianto. Si tratta, dunque, di edifici malandati e vetusti: più del 15% è stato costruito prima del 1945, altrettanti sono

datati tra il '45 e il '60, il 44% risale tra gli anni 1961 e 1980, e solo un quarto degli stabili è stato costruito dopo il 1980.

Visti i risultati, occorre superare l'approccio di intervenire prevalentemente sui casi di emergenza, e arrivare ad una programmazione degli interventi e della manutenzione ordinaria e straordinaria, che comprenda anche un piano di riqualificazione per la messa in sicurezza, la bonifica e la sostenibilità degli edifici.

Questa operazione di riqualificazione consentirebbe di considerare l'edilizia scolastica una delle grandi opere pubbliche nazionali che darebbe, oltretutto, in tempi di crisi economica, occupazione e miglioramento territoriale di un patrimonio edilizio diffuso in maniera capillare in tutto il Paese.

## **1.1 Inadeguatezza del patrimonio edilizio scolastico**

Fra 1950 e 1980 il processo accelerato di scolarizzazione ha richiesto un rapido incremento del parco italiano di edilizia scolastica: l'intensa produzione ha soddisfatto almeno in parte la domanda quantitativa, accettando però standard qualitativi modesti, se non addirittura scadenti.

Oggi, per difetti di origine o a causa di un'obsolescenza anticipata, spesso aggravata dall'assenza di manutenzione, un gran numero di edifici scolastici presenta caratteristiche inadeguate rispetto alle esigenze. Oltre ad un aspetto spesso scoraggiante per banalità e grigiore, più della metà del patrimonio evidenzia criticità non solo funzionali, ma anche di fruibilità e sicurezza. In attesa di poter accedere a tutti i dati dell'Anagrafe dell'Edilizia Scolastica, istituita con la Legge 23/1996 ma non ancora resa disponibile dal MIUR per la libera consultazione, le informazioni sullo stato del patrimonio sono quelle reperibili da altre indagini che hanno recentemente affrontato il tema. Tali indagini concordano tutte nel segnalare il progressivo aggravarsi di carenze dal punto di vista del comfort, dell'efficienza energetica e delle dotazioni funzionali, con livelli di gravità particolarmente acuti nelle regioni dell'Italia Meridionale.

Il XV Rapporto di Legambiente del 2014, denominato "Ecosistema scuola" afferma che i problemi strutturali risultano aggravati dalla scarsa manutenzione degli edifici scolastici, che dal 2009 ha visto ulteriormente ridursi le già limitate risorse investite dagli Enti locali proprietari.

Un importante fattore che ha determinato la criticità di questa situazione è stato riscontrato nella mancanza, fino al 2012, di un unico Fondo statale dedicato all'edilizia scolastica, che si occupasse di tutta la spesa pubblica destinata ai suoi fabbricati.

Con l'articolo 11 del D.L. n.179 del 2012 è stato disposto che, per consentire lo svolgimento dell'attività scolastica in ambienti sicuri ed adeguati, il MIUR, attraverso la Conferenza unificata, definisca le strategie di intervento, le priorità e i relativi finanziamenti per l'edilizia scolastica. Per incrementare i piani di intervento, inoltre, gli enti locali dovranno fare richiesta alle regioni competenti, le quali li trasmetteranno al MIUR per l'approvazione, che con l'istituzione del Fondo unico per l'edilizia scolastica nel quale confluiscono tutte le risorse iscritte nel bilancio dello Stato, provvederà a finanziare gli interventi.

Com'è noto, la competenza di intervenire sulla manutenzione ordinaria e straordinaria delle scuole è sempre spettata agli enti locali (comuni e province in base al grado di istruzione). Lo Stato è intervenuto poi nel tempo per garantire contributi aggiuntivi.

Dal 2012 al 2013, però, gli investimenti medi per singolo edificio si sono ridotti, come definito dal XV Rapporto di Legambiente, del 41% per la manutenzione straordinaria e del 22% per quella ordinaria.

L'operatività del fondo unico è iniziata solamente nel 2014, quando ha potuto attivarsi la linea di finanziamento delle "Scuole sicure" in riferimento al D.L. n.69 del 2013, ponendo le basi per provvedimenti attuativi che hanno visto accentrare le attribuzioni nel MIUR.

Un altro fattore che ha contribuito alle problematiche del patrimonio edilizio scolastico è costituito da eventi calamitosi non preventivabili. In particolare gli eventi sismici dell'estate e dell'autunno del 2016 hanno posto ulteriori ragioni di riflessione e

approfondimento rispetto all'elaborazione tecnica e normativa già avviata a seguito dei terremoti dell'Aquila del 2009 e in Emilia nel 2012.

Il tema del rischio sismico è strettamente collegato a due elementi più generali: la caratteristiche geologiche del territorio italiano costituito, come noto, da numerose aree sismiche, e i periodi di costruzione del patrimonio immobiliare scolastico. Come già detto, la maggior parte degli edifici scolastici è stata costruita tra gli anni '60 e gli '80, quindi prima che entrasse in vigore una legislazione antisismica apposta identificata nella Legge n. 64 del 1974. In quegli anni i criteri di costruzione degli edifici erano scarsamente influenzati da una "cultura antisismica" che solo di recente è andata consolidandosi in Italia. Infatti, come si evince dal XVII Rapporto "Ecosistema scuola" pubblicato da Legambiente nel 2016, il 40% degli edifici scolastici si trova in aree a rischio sismico, solo il 31% è stato sottoposto a verifiche di vulnerabilità sismica e circa il 13% è stato edificato con criteri antisismici.

Ma intervenire su tali edifici, costruiti secondo standard ormai superati, al fine di adeguarli all'attuale normativa, risulta, stando a quanto dichiarato da esperti e tecnici, del tutto inefficace. Unico rimedio, sostiene il MIUR, è quello di costruire nuovi edifici secondo gli attuali requisiti normativi e coerenti con le necessità legate all'evoluzione tecnologica che caratterizzerà i nuovi modelli scolastici.

L'elevata età media del parco immobiliare in esercizio pesa in misura decisiva sul livello di inadeguatezza: oltre la metà delle unità immobiliari è in servizio mediamente da oltre quaranta anni. In linea con quanto documentato nel XV Rapporto Legambiente del 2014, è stata registrata una scarsa produzione di nuovi edifici scolastici: quelli realizzati fra il 2001 e il 2013 costituiscono appena il 3,3% del totale del campione indagato, che essendo costituito dai soli edifici presenti nei capoluoghi di provincia, rappresenta probabilmente un indice addirittura più favorevoli di quelli dell'intero stock. Il tasso di turnover che se ne ricava, pari a circa 0,28%, corrisponde alla messa in servizio ogni anno di 1 nuovo edificio ogni 360 esistenti.

Un ritmo di sostituzione così esiguo non consente di contrastare l'obsolescenza del parco e costringe a sempre più costosi, e sempre meno efficaci, interventi di

manutenzione sugli edifici in esercizio, sottraendo ulteriormente risorse agli investimenti in nuove realizzazioni.

Garantire alle scuole standard di sicurezza allineati alle prescrizioni normative è un dovere sociale, prima ancora che un obbligo legale per le Amministrazioni proprietarie degli edifici: la messa a norma degli impianti, gli estintori, la scala di sicurezza, il consolidamento statico, sono interventi non evitabili.

Per quanto riguarda la normativa antincendio, sempre attraverso il XVII Rapporto di Legambiente sulla qualità dell'edilizia scolastica, delle strutture e dei servizi, denominato "Ecosistema scuola" del 2016, è emerso che solo il 42% degli edifici è in possesso del relativo certificato di prevenzione incendi (cpi) che viene rilasciato se la struttura rispetta tutti i requisiti previsti dalla normativa. si precisa anche che in riferimento ai dati risalenti al 2015:

- il 59.9% delle scuole possiede un certificato di agibilità;
- il 54.6% dispone di una scala di sicurezza;
- l'83.3% possiede la dichiarazione di conformità dell'impianto elettrico;
- il 92.8% possiede porte antipanico;
- il 96.5% è in regola con le prove di evacuazione.

Negli ultimi anni sono stati svolti numerosi interventi per rimediare a questa situazione, ma il miglioramento percentuale è stato lieve poiché approfondendo l'anagrafe sull'edilizia scolastica sono stati individuati altri fabbricati che presentavano le stesse problematiche.

Tuttavia, mantenere in condizioni di accettabile agibilità edifici spesso nati gracili e poi sfruttati molto intensamente così a lungo, richiede un costo ingente: quasi 5 miliardi di Euro all'anno, di cui un quarto solo per la fornitura di energia. Spesso è solo la necessità inderogabile di mantenere attivo il servizio scolastico a qualunque prezzo che riesce a giustificare investimenti sproporzionati in manutenzione rispetto al valore economico dell'immobile che ne beneficia, e a volte peraltro con effetti modesti, se non addirittura negativi, sui futuri costi di esercizio.

L'associazione di Legambiente, attraverso il XVII Rapporto "Ecosistema scuola", ha riferito al Parlamento quale fosse la situazione dell'edilizia scolastica e lo stesso Governo ha riconosciuto che circa 15.000 edifici pubblici per l'istruzione necessitano di rilevanti interventi di manutenzione straordinaria per la loro messa in sicurezza; per almeno 10.000 edifici (cioè poco meno di un quarto del patrimonio) deve essere prevista la demolizione.

Mentre nei confronti delle emergenze che riguardano la sicurezza e l'incolumità degli utenti si registra una crescente attenzione, il tema dei consumi di combustibile è ancora percepito, a livello sociale, come meno critico, e forse questo spiega perché l'efficienza energetica delle scuole risulta ancora spesso trascurata.

Le scuole italiane continuano ad avere consumi eccessivi, spesso abnormi, riscontrabili da un indice di prestazione energetica annuo molto elevato: attraverso il "Diario della transizione/5" pubblicato dal Censis nel 2014 è emerso che l'indice di prestazione energetica degli edifici scolastici oscilla tra i 130 e 160 kWh/m<sup>2</sup> annui e ciò implica condizioni di comfort molto scadenti, quando non pessimi. Dunque, questi fabbricati, in base alla classificazione energetica, risulterebbero in classe energetica F o addirittura G, la peggiore.

## **1.2 Lo spazio dell'apprendimento**

Lo stato in cui versa il patrimonio edilizio scolastico, anche a causa della contrazione degli investimenti statali per la realizzazione di nuovi edifici, impone la riqualificazione dell'esistente come priorità ineludibile, benché sempre più spesso destinata a conseguire rendimenti calanti in termini di costi-benefici. Interventi realizzati in queste condizioni sono costretti a confrontarsi con una serie molto stringente di vincoli, che non consentono quasi mai di adottare le soluzioni più efficienti e ancor meno di applicare approcci progettuali ispirati alle teorie pedagogiche più aggiornate.

La realizzazione di nuovi edifici permetterebbe, invece, di sperimentare efficacemente la complementarietà tra nuove modalità di apprendimento e la configurazione di spazi

innovativi, attraverso l'estesa applicazione di criteri adeguati all'evoluzione delle esigenze didattiche e organizzative di una scuola in continuo mutamento.

Chiamata a confrontarsi con i cambiamenti sociali, l'innovazione tecnologica e le modalità alternative di finanziamento degli interventi, la progettazione di un nuovo modello di scuola può diventare una sperimentazione a cui ispirare anche gli adeguamenti del patrimonio scolastico da riqualificare.

Mentre le azioni sull'edilizia scolastica sono costrette a concentrarsi sull'emergenza della "riparazione", da almeno due decenni le teorie scientifiche e le ricerche empiriche in ambito pedagogico sottolineano la necessità di innovare le pratiche educative correnti, per adattare ai cambiamenti dei processi di apprendimento indotti dall'affermarsi di nuove dinamiche sociali e familiari e dall'accesso sempre più diffuso agli strumenti della comunicazione digitale. In questa prospettiva, viene segnalata come cruciale la necessità di adeguare coerentemente anche gli spazi destinati ad ospitare modalità rinnovate di insegnamento.

Uno dei paradigmi più frequentemente utilizzati per orientare l'evoluzione dei modelli pedagogici è centrato sul concetto di "apprendimento efficace", rispetto al quale le caratteristiche dei luoghi e degli ambienti che ospitano l'attività scolastica, in termini di relazioni con il contesto extra-scolastico, configurazioni spaziali, performance acustiche, termiche, di illuminazione, di qualità dell'aria, assumono un ruolo cruciale per le conseguenze che generano sulle stesse dinamiche di apprendimento e di insegnamento.

L'esistenza di forti interrelazioni fra configurazione fisica e spaziale degli edifici scolastici e modalità di organizzazione delle attività didattiche è un concetto condiviso fino dagli anni '20 del secolo scorso: nuovo è invece l'accento che oggi viene posto sulla centralità del soggetto che apprende, sulla capacità della scuola di proporsi come ambiente accogliente, ricco di stimoli, attraente, che diventa centro di relazioni e si fa percepire ed apprezzare come un luogo dove imparare è coinvolgente e gratificante; secondo alcuni pedagogisti, infatti, allo spazio viene attribuito il ruolo di "terzo insegnante".

L'attenzione quindi si allarga dal controllo dei parametri funzionali, delle dotazioni e delle condizioni di comfort fisico-ambientale, alle implicazioni che lo spazio didattico può avere rispetto alla sfera affettiva, sociale e cognitiva di uno studente, di qualunque età.

Nel 2013 l'OCSE ha pubblicato i risultati del progetto *Innovative Learning Environment*, finalizzato ad analizzare l'efficacia degli ambienti di apprendimento. La Ricerca, condotta fra 2010 e 2011, ha analizzato approfonditamente 40 casi-studio, selezionati su 125 esperienze innovative di applicazione di nuovi modelli pedagogici, in 23 Paesi. E' emerso che fra gli elementi di un efficace "ambiente di apprendimento" viene segnalata la necessità di disporre di spazi flessibili, dotati di identità riconoscibile e facili da riconfigurare per generare situazioni differenziate in relazione alle diversità degli utenti e al variare delle attività che si svolgono.

Un altro esempio internazionale di rilievo è costituito dal programma "*Building the Education Revolution*" (BER) condotto in Australia negli anni 2009-2011 grazie ad un ingente finanziamento statale e finalizzato alla costruzione di nuovi edifici scolastici e alla riqualificazione di quelli esistenti, con l'obiettivo finale di creare ambienti di apprendimento destinati sia alla scuola che all'intera comunità. Le premesse scientifiche del programma sono basate sull'identificazione dei requisiti dell'apprendimento, sulle competenze che devono raggiungere gli studenti, su come valutare queste competenze e quali sono approcci pedagogici migliori da utilizzare. Da queste basi vengono ricavate indicazioni sia sulle metodologie didattiche, sia sulla progettazione di spazi efficaci.

A partire dagli anni '90, anche in diversi Paesi europei l'organizzazione scolastica è stata oggetto di importanti programmi di rinnovamento (fra gli altri: *Innoschool* in Finlandia, *BSF* in Gran Bretagna), che includono, oltre ad azioni su metodi e programmi didattici e sulla formazione dei formatori, anche quantità rilevanti di interventi di costruzione di nuovi edifici e di riqualificazione degli esistenti, riconoscendo l'influenza positiva che spazi adeguati ed efficienti producono anche sul rendimento scolastico e qualità delle relazioni sociali.

### 1.3 Scuole del XXI secolo

La buona progettazione degli edifici scolastici ha sempre attribuito grande peso alla loro efficienza e funzionalità, requisiti di cui anche la normativa ne richiama l'importanza con insistenza.

A questo si aggiunge l'obiettivo dell'efficienza energetica, diventato oggi cruciale per gli effetti sui costi di esercizio e per le strette interdipendenze con i livelli di comfort e i parametri di qualità ambientale indoor.

Le scuole del XXI secolo non devono solo di soddisfare sempre più stringenti requisiti funzionali, ma sono chiamate a rispondere alle esigenze ancora più severe indotte dalla radicale trasformazione delle dinamiche di apprendimento. Luoghi in cui avviene l'educazione delle future generazioni di cittadini, soggetti a intensa fruizione collettiva e segnati da importanti valenze simboliche, le scuole non possono certamente essere occasioni solo per stanchi esercizi stilistici.

E' nata perciò la necessità di procedere ad interventi di riqualificazione del patrimonio edilizio scolastico, ma anche alla costruzione di nuove scuole secondo criteri innovativi, per dare l'opportunità di un coinvolgimento attivo di tutti gli utenti della scuola nelle pratiche di gestione sostenibile degli edifici (come la raccolta differenziata, il risparmio idrico, la gestione dell'illuminazione, le iniziative di sensibilizzazione della cittadinanza). Occorre consentire alla scuola di diventare, attraverso edifici esemplari, un centro di riferimento per tutta la comunità, in grado di formare i cittadini e contribuire attivamente allo sviluppo e alla sostenibilità ambientale attraverso misure di efficientamento energetico. Inoltre, andrebbe avviata una politica di maggior sfruttamento degli spazi all'interno degli edifici scolastici mediante accorpamenti ovvero apertura ad altri utilizzi.

La disponibilità di estesi repertori di esperienze realizzate, documentate dettagliatamente ed analizzate criticamente, è uno degli strumenti più utilizzati per aggiornare lo stato dell'arte ed offrire utili riferimenti ai nuovi progetti.

Moltiplicati dalle possibilità offerte dal web, gli strumenti per la condivisione delle *best practices* vedono una crescente diffusione ed offrono un supporto molto puntuale alla individuazione delle esperienze educative più innovative e alle soluzioni progettuali che sono state adottate per integrarne gli effetti.

Uno fra i più recenti di questi repertori, che documenta 60 interventi esemplari di edilizia scolastica, fornisce una sintesi particolarmente efficace dei principali elementi a cui le migliori esperienze suggeriscono di ispirare la ricerca progettuale: ne risulta una sorta di lista di controllo utile a valutare anche la recente produzione nazionale di edilizia scolastica e a riportare, anche in Italia, all'attenzione del dibattito architettonico la progettazione delle scuole.

Con la Conferenza Unificata (sede congiunta della Conferenza Stato-Regioni e della Conferenza Stato-Città ed autonomie locali che opera al fine di favorire la cooperazione tra l'attività dello Stato e il sistema delle autonomie e di esaminare le materie e i compiti di comune interesse) del 10 novembre 2016, è stato approvato il nuovo progetto di Anagrafe dell'edilizia che prevede la creazione del fascicolo elettronico dell'edificio e l'interoperabilità delle banche dati esistenti di monitoraggio dei lavori. Questo progetto prevede nuovi dati e anche un sistema di accompagnamento e di supporto agli enti locali.

L'Anagrafe dell'Edilizia Scolastica inoltre, potrebbe avere nel Fascicolo del Fabbricato (uno strumento per il monitoraggio dello stato di conservazione del patrimonio edilizio finalizzato ad individuare le situazioni di rischio degli edifici e a programmare nel tempo interventi di ristrutturazione e manutenzione) uno sviluppo proficuo, in particolare se esso venisse redatto per ciascun edificio di competenza dell'autonomia scolastica e sviluppato con il sistema di georeferenziazione web-GIS. Il Fascicolo potrebbe, se aggiornato con cadenza annuale e tenuto a cura del proprietario, essere messo a disposizione della direzione scolastica. Sul Fascicolo sono annotate le informazioni relative all'edificio di tipo identificativo, progettuale, strutturale, impiantistico, ambientale, con l'obiettivo di ottenere un idoneo quadro conoscitivo a partire, ove possibile, dalle fasi di costruzione dello stesso e le eventuali modifiche

apportate rispetto alla configurazione originaria, con particolare riferimento alle componenti statiche, funzionali, impiantistiche e agli elementi non strutturali.

Per accelerare la riqualificazione e la messa in sicurezza del patrimonio edilizio scolastico, si potrebbero ridurre e semplificare le linee di finanziamento per superare le difficoltà di accesso ai bandi e di realizzazione degli interventi e di coinvolgere l'ANAC (Autorità Nazionale Anticorruzione), per individuare procedure efficaci e trasparenti, e le Esco (Energy Service Company), per coinvolgere risorse e imprenditori privati nel processo di riqualificazione.

Il progetto di riqualificazione vede coinvolto il Ministero su più fronti: da una parte, sono in via di predisposizione, da parte di una commissione, le linee guida in materia di edilizia scolastica; dall'altra, dal punto di vista operativo, il MIUR, in collaborazione con Regioni ed enti locali, intende promuovere la costituzione, a livello territoriale, di fondi immobiliari.

Questi strumenti possono consentire di raggiungere l'obiettivo di costruire nuove strutture superando, ad esempio, i limiti di spesa imposti dal Patto di stabilità interno. Con l'utilizzo dei fondi immobiliari, la realizzazione delle opere, l'investimento necessario e l'eventuale indebitamento sono, infatti, completamente a carico del fondo stesso, cui parteciperanno Comuni, Province, altri enti istituzionali presenti sul territorio e il Ministero.

## **1.4 Aspetti di intervento per la riqualificazione del patrimonio edilizio scolastico**

### **1.4.1 Riqualificazione energetica**

L'obiettivo di una riqualificazione energetica è quello di individuare gli interventi necessari per il miglioramento delle caratteristiche energetiche dell'edificio scolastico finalizzati ad un incremento progressivo delle prestazioni, riducendo i consumi, le emissioni e di conseguenza migliorando il comfort degli ambienti interni. Lo scopo è di

ottimizzare la gestione dei servizi energetici da parte della Pubblica Amministrazione, in base, anche, alle reali risorse economiche. La prima importante normativa legata agli interventi di riqualificazione, riguardante le caratteristiche e i valori limite dell'involucro esterno dell'edificio e degli impianti di riscaldamento e di illuminazione, si è concretizzata con il D.lgs 192/05. Il decreto definiva i criteri, le condizioni e le modalità per migliorare le prestazioni energetiche degli edifici al fine di favorire lo sviluppo, la valorizzazione e l'integrazione delle fonti rinnovabili, la diversificazione energetica e la diminuzione di emissioni di gas serra. Successivamente sono stati emanati il D.M. 26/06/2009 e il D.M. 26/06/2015, tuttora in vigore.

Il D.M. n.162 del 26 giugno 2015, recante "Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici", completa il quadro normativo dell'efficienza energetica in edilizia adeguando le precedenti direttive alle nuove metodologie di calcolo introdotte a livello europeo. Il decreto introduce:

- metodologie di calcolo semplificate da applicare ad edifici di ridotte dimensioni, con lo scopo di ridurre i costi a carico dei cittadini;
- un attestato di prestazione energetica che comprende tutti i dati relativi all'efficienza dell'edificio, come la prestazione energetica globale e la classe energetica, per consentire una più semplice e rapida valutazione e confronto tra edifici differenti;
- un sistema informativo omogeneo (SIAPE) per tutto il territorio nazionale, obbligatorio per tutte le Regioni e le Province autonome, che comprenda la gestione di un catasto degli edifici, degli attestati di prestazione energetica e dei relativi controlli pubblici.

Il nuovo decreto rappresenta, dunque, uno strumento importante per favorire una applicazione coordinata, omogenea e immediatamente operativa delle norme per l'attestazione della prestazione energetica degli edifici su tutto il territorio nazionale, evitando la frammentazione legislativa regionale, che ha rappresentato una delle principali criticità del sistema di certificazione energetica degli edifici.

Alle Regioni è chiesto un compito importante: gestire al meglio la nuova catalogazione sul portale unico SIAPE e garantire l'applicazione delle regole, attivando una campagna seria di monitoraggi e controlli associandoli a severe sanzioni.

La principale novità è costituita dal fatto che ai fini della attestazione della prestazione energetica sarà necessario determinare il fabbisogno globale di energia primaria, ed il relativo indice di prestazione energetica globale dell'edificio, tenendo conto di tutti i diversi utilizzi energetici dell'edificio: climatizzazione invernale ed estiva, produzione di acqua calda sanitaria, ventilazione, illuminazione e movimentazione di persone o cose (montacarichi, ascensori, scale mobili).

Sulla base dell'indice di prestazione energetica globale non rinnovabile dell'edificio  $EP_{gl,nren}$ , per mezzo del confronto con una scala di classi prefissate, ognuna delle quali rappresenta un intervallo di prestazione energetica definito, viene determinata la classe energetica dell'edificio, che si basa su una scala di dieci valori, da A4 a G (precedentemente erano sette). Il precedente decreto, il D.M. 26/06/2009, invece, consentiva di calcolare la prestazione energetica, soltanto per i servizi di riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria, e ciò non permetteva di determinare la reale prestazione energetica globale di un edificio, poiché la sua classe energetica non era riferita a tutti gli utilizzi energetici.

Il D.M. 162/2015 garantisce inoltre una miglior gestione dei dati e delle informazioni su tutto il territorio nazionale attraverso l'introduzione del SIAPE, il sistema informativo degli Attestati di Prestazione Energetica messo a punto dall'ENEA, che dovrà garantire l'interoperabilità con i sistemi informativi nazionali e regionali esistenti ed in particolare con i catasti regionali degli edifici, degli APE, degli impianti termici e dei relativi controlli pubblici.

Il nuovo format di APE risulta molto più chiaro e completo sia di informazioni che di dati tecnici, considerando, come indicato dallo stesso MiSE (Ministero dello Sviluppo Economico), di quanto sia fondamentale, per il proprietario o utilizzatore dell'edificio,

conoscere la qualità dell'involucro edilizio e degli impianti al fine di poter individuare le più significative carenze energetiche ed orientare gli interventi in base alle priorità riscontrate. L'APE costituisce altresì un efficace strumento per la valutazione della convenienza alla realizzazione di interventi di riqualificazione energetica dell'immobile stesso. Inoltre, nei casi di edifici di nuova costruzione e di ristrutturazioni importanti deve essere previsto che il direttore dei lavori segnali al soggetto certificatore le varie fasi della costruzione del fabbricato e di posa degli impianti, quando esse risultano rilevanti per le prestazioni energetiche dell'edificio, al fine di consentire gli adeguati controlli in corso d'opera.

Per effetto della crescente sensibilizzazione ai temi della sostenibilità ambientale, al risparmio energetico e all'ecosostenibilità degli edifici, l'Unione Europea ha emanato, facendo riferimento al protocollo di Kyoto, la direttiva 2009/29/CE che prevede di ridurre le emissioni di gas serra del 20 %, alzare al 20 % la quota di energia prodotta da fonti rinnovabili e incrementare del 20 % l'efficienza energetica: il tutto entro il 2020. Questo è il cosiddetto Piano 2020.

In Italia, in riferimento all'utilizzo delle fonti rinnovabili, la direttiva europea è stata recepita con l'emanazione dell'attuale normativa vigente, ovvero il D.lgs n.28 del 3 marzo 2011, che ha introdotto con l'art. 11 e l'Allegato 3, obblighi relativi alla produzione di energia da fonti rinnovabili per gli edifici di nuova costruzione e per quelli sottoposti ad interventi di ristrutturazione rilevante.

Nei nuovi edifici, o in quelli sottoposti a ristrutturazione rilevante, gli impianti di produzione di energia termica devono essere progettati e realizzati in modo da garantire il contemporaneo rispetto della copertura, tramite il ricorso ad energia prodotta da impianti alimentati da fonti rinnovabili:

- del 50% dei consumi previsti per l'acqua calda sanitaria;
- di percentuali dati dalla somma dei consumi previsti per l'acqua calda sanitaria, il riscaldamento e il raffrescamento, pari al 35% fino alla fine del 2017 e al 50% dal 1° gennaio 2018.

Per gli edifici pubblici le soglie sopra indicate sono incrementate del 10%, quindi le percentuali sono pari al 38,50% fino alla fine del 2017 e al 55% dal 1° gennaio 2018.

Negli edifici nuovi, o in quelli sottoposti a ristrutturazione rilevante, la potenza elettrica degli impianti alimentati da fonti rinnovabili, che devono essere obbligatoriamente installati sopra o all'interno dell'edificio o nelle relative pertinenze, misurata in kW, è calcolata secondo la formula:  $P=S/k$ , dove  $S$  è la superficie in pianta dell'edificio al livello del terreno, misurata in  $m^2$ , mentre  $k$  è un coefficiente che dal 1° gennaio 2017 vale  $50 m^2/kW$ .

In tema di risparmio energetico, un primo intervento di semplice attuazione a cui gli enti locali si stanno dedicando è il miglioramento prestazionale degli impianti di illuminazione, andando a sostituire le classiche plafoniere al neon con sistemi di lampade a LED. Tale intervento è stato anche reso necessario dall'incremento dei consumi di energia elettrica dovuti alle nuove attrezzature didattiche, come ad esempio le lavagne elettroniche, introdotte dalle nuove dinamiche di insegnamento.

Gli interventi che possono, dunque, permettere di conseguire gli obiettivi per un'adeguata riqualificazione energetica riguardano:

- l'Involucro esterno dell'edificio;
- gli impianti, di climatizzazione ed elettrici;
- l'utilizzo di fonti rinnovabili.

#### **1.4.2 Messa in sicurezza**

La messa in sicurezza degli edifici scolastici e i relativi adeguamenti normativi sono argomenti che prevedono interventi riguardanti diverse tematiche:

- il rischio sismico;
- la manutenzione degli elementi non strutturali;
- la prevenzione incendi;
- l'abbattimento delle barriere architettoniche.

Gli eventi sismici degli ultimi quindici anni hanno portato all'attenzione pubblica e governativa il problema del consolidamento strutturale dei manufatti esistenti. In particolar modo è stato dato maggior impulso alla prevenzione sismica degli edifici pubblici, primi fra tutti le scuole.

Con i criteri sempre più restrittivi, dettati dal D.M. 14 gennaio 2008 (Norme Tecniche per le costruzioni, NTC08) e dalla Circolare 2 febbraio 2009 n. 617, può dunque rendersi necessario un consolidamento strutturale, volto ad aumentare la capacità portante del manufatto (o di sue parti) per soddisfare le nuove esigenze. In questo contesto si inserisce l'adeguamento o il miglioramento antisismico, sempre più necessario per raggiungere standard di sicurezza più elevati ed attuali. Si entra così in un mondo dove il numero delle applicazioni di tali consolidamenti, permette di far fronte anche alle esigenze economico-finanziarie di un mercato in cui vi è sempre maggiore difficoltà a costruire nuove opere e vi è quindi una costante necessità di mantenere efficiente un patrimonio esistente sempre più vasto.

Nella valutazione delle scelte progettuali si deve tener conto di innumerevoli aspetti, tra gli oneri aggiuntivi per la sicurezza e la salubrità degli ambienti, gli oneri e i disagi conseguenti a traslochi e trasferimenti e gli oneri per eventuali interruzione di una o più funzionalità operative. Occorre quindi una profonda conoscenza non solo della tecnica o della scienza delle costruzioni ma anche e soprattutto delle dinamiche di funzionamento dell'oggetto che stiamo trattando, delle interazioni tra le diverse funzioni e dei costi di una loro temporanea interruzione o delocalizzazione.

Con riferimento a un edificio scolastico, il cui utilizzo può essere interrotto completamente delocalizzandone le funzioni ma per il minor tempo possibile, e, soprattutto, sfruttando i periodi di normale sospensione delle attività per le fasi di trasferimento, assume grande importanza la velocità di esecuzione dei lavori e quindi l'individuazione di tecniche magari più costose ma più rapide, ad esempio acciaio anziché c.a. in quanto privo dei tempi di maturazione.

Per le costruzioni esistenti, gli interventi di consolidamento vanno applicati, per quanto possibile, in modo regolare ed uniforme. La loro esecuzione su porzioni limitate dell'edificio va opportunamente valutata e giustificata, considerando la variazione

nella distribuzione delle rigidità e delle resistenze e la conseguente eventuale interazione con le parti restanti della struttura. Particolare attenzione deve essere posta alla fase esecutiva degli interventi, in quanto una cattiva esecuzione può peggiorare il comportamento globale delle costruzioni.

La scelta del tipo, della tecnica, dell'entità e dell'urgenza dell'intervento dipende dai risultati della fase di valutazione dello stato di fatto, dovendo mirare principalmente a contrastare lo sviluppo di meccanismi locali e/o di meccanismi fragili e, quindi, a migliorare il comportamento globale della costruzione. E' molto importante quindi definire, nel modo più preciso possibile, i livelli di conoscenza e i relativi fattori di confidenza, così come definito nel capitolo 8 delle NTC08.

In generale le tipologie di intervento più frequenti riguardano il rinforzo di tutti o parte degli elementi, l'aggiunta di nuovi elementi resistenti, come ad esempio pareti in c.a. e controventi in acciaio, l'eliminazione di eventuali comportamenti di piano "debole", l'introduzione di un sistema strutturale aggiuntivo in grado di resistere per intero all'azione sismica di progetto e l'eventuale trasformazione di elementi non strutturali in elementi strutturali, come nel caso di incamiciatura in c.a. di pareti in laterizio.

Dato che la scuola è a tutti gli effetti un luogo di lavoro, un'attenta riqualificazione deve prevedere che tutte le parti e i componenti dell'edificio scolastico, quindi anche quelli non strutturali, non precludano la sicurezza nei confronti di chi usufruisce del fabbricato. Bisogna perciò far riferimento alle normative vigenti, in particolar modo al D.lgs 81/08, Testo Unico in materia di salute e sicurezza nei luoghi di lavoro, e andare a verificare tutti quegli elementi che potrebbero recare danno a persone o cose, nel caso in cui fossero stati posati o realizzati in maniera errata o non conformi alla regola d'arte, come la posa di controsoffitti o l'installazione di impianti, ed evitare il ripetersi di tragedie come quella del liceo C. Darwin di Rivoli (TO) nel 2008.

La sicurezza nelle scuole, negli ultimi mesi, è l'argomento principale che sta coinvolgendo l'intero patrimonio edilizio scolastico, non solo da un punto di vista del rischio sismico, ma anche sul piano della prevenzione incendi e sulle misure di

sicurezza per l'evacuazione in tutti i casi di emergenza. A tal proposito, visto le carenze in termini di sicurezza degli edifici scolastici italiani, è stato emanato il D.M. 12 maggio 2016 che ha avviato il piano per l'adeguamento delle scuole alle norme di prevenzione e protezione dagli incendi, fissando scadenze a breve termine, l'ultima delle quali ricadeva il 26 novembre 2016. Per questa data dovevano essere rispettati i vincoli imposti dal D.M. 26 agosto 1992, norme di prevenzione incendi per l'edilizia scolastica. Non meno importante è invece l'accessibilità agli edifici scolastici. Questo tema è stato affrontato negli anni passati emanando il DPR 384/1978 e il D.M. 236 del 14 giugno 1989, che dettavano obblighi e vincoli da rispettare affinché chiunque potesse usufruire delle strutture e servizi scolastici indipendentemente dalle capacità motorie. Ad oggi, la maggior parte degli ostacoli per i diversamente abili sono stati eliminati, ma spesso, si presentano situazioni che non permettono la completa accessibilità all'intero edificio, come ad esempio piccoli dislivelli interni o porte troppo strette.

La messa in sicurezza di un edificio scolastico, dunque, coinvolge diverse campi di applicazione che richiedono interventi in ambito:

- strutturale;
- non strutturale;
- antincendio;
- barriere architettoniche.

### **1.4.3 Riqualificazione funzionale**

Nel momento in cui si parla di riqualificazione del patrimonio edilizio scolastico, le prime tematiche a cui si pensa sono il rischio sismico e la prevenzione incendi ed ovviamente sono da tenere in primo piano, così come tutti i fattori che devono garantire la salvaguardia della vita degli alunni e del personale addetto che vive nell'edificio scolastico durante il suo esercizio. Accanto a questi aspetti, bisogna affiancare quelli necessari a garantire il comfort degli occupanti della scuola, non solo da un punto di vista termo-igrometrico ma anche spaziale e funzionale.

Le nuove metodologie didattiche necessitano di spazi sempre maggiori e dedicati a precise attività, permettendo agli alunni, soprattutto quelli nella fasce di età più giovane, un apprendimenti più rapido associando i concetti spiegati ad un contesto ben preciso. Con la creazione di nuovi spazi, inoltre, viene data la possibilità di avere una didattica più dinamica: lo spostamento da un'aula ad un laboratorio garantisce non solo un momento di pausa dalle lezioni, ma anche un momento di confronto tra gli alunni stessi o gli alunni e i docenti in maniera più libera e informale.

In Italia non esistono normative specifiche indirizzate verso questo argomento: attualmente l'unica normativa di riferimento è il D.M. 18 dicembre 1975, norme tecniche relative all'edilizia scolastica, che pone dei limiti fornendo indici e vincoli di esecuzioni delle opere edili. Questo decreto ha posto fino ad ora le basi per garantire spazi adeguatamente dimensionati alle esigenze scolastiche ordinarie, ma fa comunque riferimento ad una didattica risalente a più di cinquant'anni fa. Per tale motivo nel 2013 il MIUR ha emanato le Linee Guida che rinnovano i criteri per la progettazione delle dotazioni e dello spazio per la scuola del nuovo millennio. Promuovono, inoltre, la possibilità che i nuovi laboratori possano venire utilizzati dalla collettività cittadina anche in orario extra scolastico.

Si discostano, quindi, dallo stile prescrittivo del D.M. del '75 rendendo i criteri di progettazione facilmente adattabili alle esigenze didattiche e organizzative di una scuola in continuo mutamento, e riconfigurando le architetture interne.

E' fondamentale ricordare, però, che le Linee Guida del MIUR possono essere interpretate con dei consigli e suggerimenti per una buona progettazione, mentre il D.M. del '75 è una normativa che il progettista è obbligato a rispettare, anche se le funzionalità dell'edificio scolastico risulterebbero fortemente limitate.

La riqualificazione funzionale deve sovente essere eseguita su edifici antecedenti al D.M. del '75 e questo comporta difficoltà maggiori poiché, prima di poter progettare nuovi spazi, c'è la necessità di adeguare dimensionalmente quelli già esistenti. Queste

difficoltà sono comunque riscontrate anche per le scuole edificate dopo il 1975, nonostante al paragrafo 3.0.3 venga stabilito che *“per il continuo aggiornarsi e trasformarsi dei metodi didattici, l'organismo architettonico deve essere trasformabile nel tempo senza costosi adattamenti”*, infatti il numero di locali distribuiti all'interno dell'edificio scolastico risulta essere quello strettamente necessario al regolare svolgimento dell'attività didattica e non sempre è possibile effettuare ampliamenti del fabbricato esistente.

Pertanto, viene molto spesso a mancare la possibilità di creare nuovi spazi ricreativi e soprattutto laboratori, non solo ad uso esclusivo della didattica ma anche per attività esterne della comunità cittadina.

In generale una buona riqualificazione funzionale della scuola deve prevedere interventi che riguardano:

- l'adeguamento degli spazi esistenti;
- il rinnovamento tecnologico della didattica;
- la creazione di nuovi laboratori;
- l'interazione tra scuola e collettività.

## CAPITOLO 2

### CASO STUDIO: SCUOLA ELEMENTARE “M. BUONARROTI”

#### – ANALISI STATO DI FATTO

Avendo frequentato la scuola primaria e secondaria di primo e secondo grado nella città di Asti, la mia città natale, ho potuto conoscere una realtà che comprende problematiche di ogni genere, accumulando il patrimonio edilizio scolastico locale a quello dell'intera nazione. Infatti, le statistiche dicono che la maggior parte delle scuole italiane vive in edifici datati. E Asti non fa eccezione. Molte strutture hanno bisogno di interventi di manutenzione e messa in sicurezza. Si tratta di portare avanti coerentemente un progetto complesso che dà priorità assoluta all'edilizia scolastica e che ambisce a risolvere plesso per plesso le principali problematiche presenti. L'onere di una tale operazione è ingente, tanto da portare le amministrazioni locali a valutare come accendere nuovi mutui pur di affrontare i prossimi interventi migliorativi delle nostre scuole.

Durante alcuni incontri con i tecnici comunali preposti all'edilizia pubblica, e quindi anche a quella scolastica, mi sono state illustrate le scuole che sono state e saranno oggetto di interventi di riqualificazione strutturale, energetica e funzionale. Volendo affrontare un caso studio le cui problematiche non siano ancora state oggetto di riqualificazione o interventi di recupero, la scelta è ricaduta sulla scuola primaria Michelangelo Buonarroti.

### 2.1 Identificazione dell'area

L'edificio oggetto di indagine è una scuola elementare appartenente al V Circolo Didattico del comune di Asti ed è localizzato in un'area residenziale nella porzione nord-occidentale della città, in Via Domenico Rabioglio 2. Il fabbricato è individuato

attraverso i riferimenti catastali alla Sezione A, Foglio n° 52, Particella n° 99, Sub. n° 1 del Catasto Fabbricati.

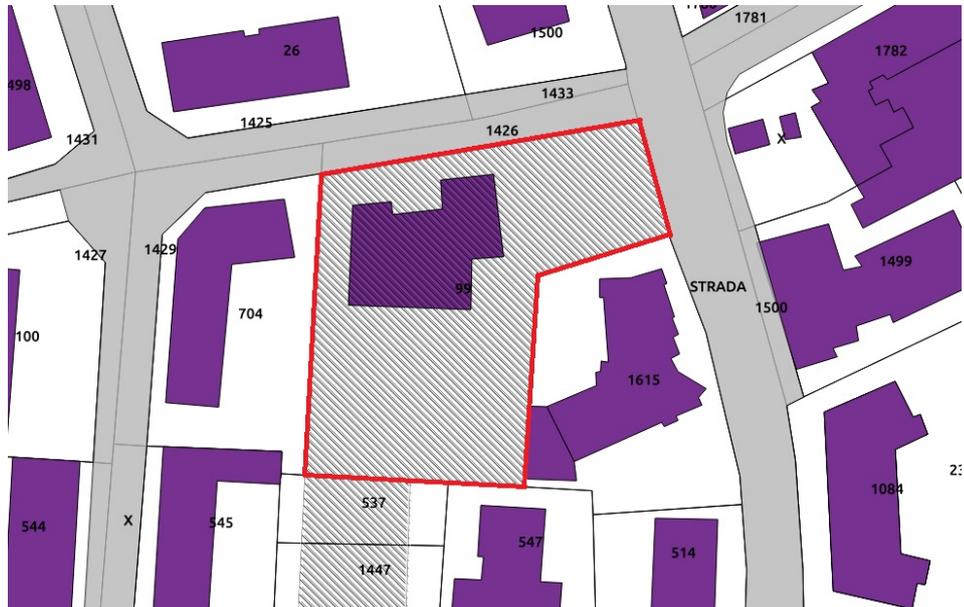


Fig. 2.1 – Estratto di mappa: Sez. A, Foglio 52, Part. 99, Sub. 1

L'area del lotto, che si estende per una superficie di circa 2550 m<sup>2</sup>, confina a Nord, dove è presente l'unico ingresso pedonale e carrabile, con Via D. Rabioglio, a Est con Via Conte Verde e con un condominio, ad Ovest con un'altro edificio residenziale e a Sud con un'area verde pubblica.

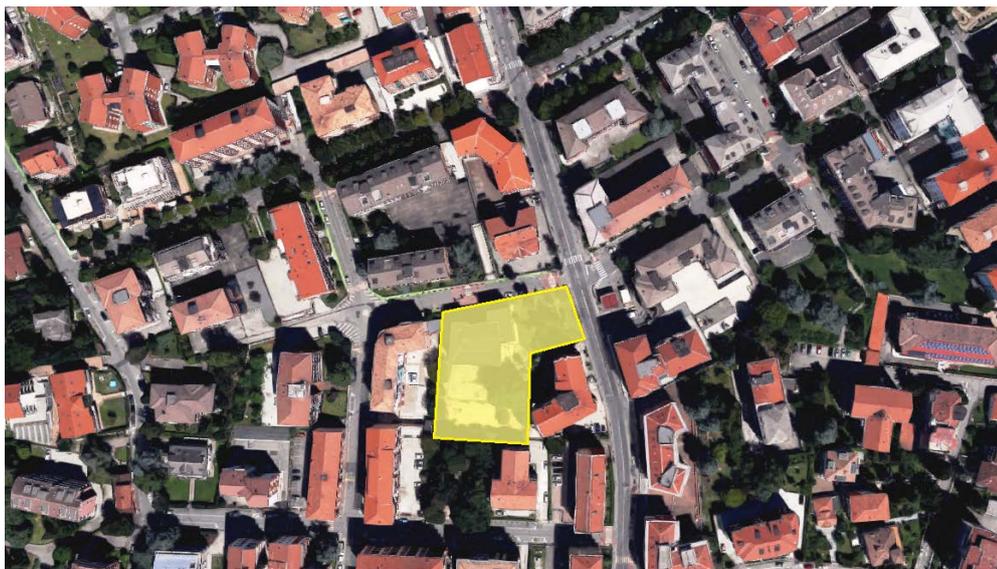


Fig. 2.2 – Estratto Google Maps vista satellitare

## 2.2 Caratteristiche costruttive

Il complesso scolastico fu edificato nel 1960 e il progetto originario prevedeva che l'edificio si elevasse per tre piani: un piano seminterrato e due piani fuori terra. Nel 1967 venne effettuata una sopraelevazione portando il numero di piani fuori terra a tre.



*Fig. 2.3 – Vista scuola primaria M. Buonarroti*



*Fig. 2.4 – Vista lato sud*



*Fig. 2.5 – Vista lato sud-est (a sinistra) e nord-est (a destra)*

Dal punto di vista costruttivo il fabbricato è realizzato con struttura tradizionale a telaio in c.a. e solai in latero-cemento; la copertura è anch'essa in latero-cemento, in parte a falde con una lieve inclinazione e in parte piana. L'involucro esterno è costituito da una muratura in paramano e da infissi in legno nei tre piani fuori terra e in alluminio per quelli dell'ingresso e al piano seminterrato.

Alla scuola si accede tramite un ingresso principale posto al piano rialzato collegato con il livello strada attraverso tre rampe inclinate disposte in serie e un secondo ingresso, posto sul lato est e realizzato con tre rampe in parallelo, per agevolare il collegamento tra il corpo di fabbrica e il cortile.

Ogni piano della scuola occupa una superficie di circa 462 m<sup>2</sup>. Il collegamento verticale tra i piani è consentito da una scala principale interna, che mette in comunicazione solo i tre piani fuori terra, localizzata sul lato ovest dell'edificio e da un'altra scala interna sul lato nord e un ascensore esterno a est che collegano tutti e quattro i piani. Le attività didattiche e di laboratorio sono concentrate agli ultimi due piani, al piano rialzato si trova la mensa ed una sola aula didattica, utilizzata da una classe della prima

elementare o dalla sezione in cui sia presente un alunno con disabilità motorie. Al piano seminterrato, si svolgono invece attività di pre scuola e di educazione fisica.

## **2.3 Analisi dello stato di fatto**

L'immobile, considerando il fatto che esiste da più di mezzo secolo, presenta a prima vista un discreto stato di conservativo. Gli interventi di manutenzione effettuati in passato però non sono più sufficienti a soddisfare i requisiti richiesti dalle normative vigenti poiché negli ultimi anni sono stati imposti limiti sempre più restrittivi in termini di sicurezza e dispersioni energetiche.

Prima di poter elaborare un progetto di riqualificazione, bisogna effettuare un'analisi approfondita sull'edificio per poter identificare quali siano le carenze che vi insistono da un punto di vista funzionale, normativo, strutturale e delle dispersioni energetiche.

### **2.3.1 Aspetti energetici**

Una fase molto importante per l'analisi dell'edificio è lo studio sui consumi e sulle dispersioni energetiche. L'indagine viene eseguita considerando diversi punti:

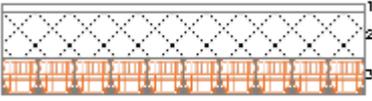
- individuazione delle stratigrafie e le relative trasmittanze degli elementi orizzontali e verticali che compongono l'involucro esterno e la partizione interna;
- calcolo delle dispersioni energetiche per trasmissione e ventilazione;
- individuazione dell'impianto di riscaldamento;
- valutazione dei consumi per il riscaldamento e di energia elettrica.

#### **2.3.1.1 Stratigrafie e trasmittanze**

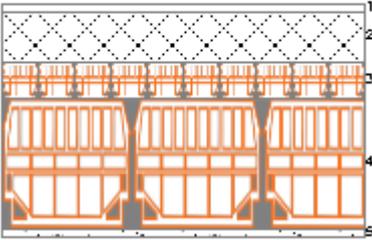
Per mezzo dei dati rilasciati dal Comune, sono stati individuati i componenti verticali e orizzontali degli elementi che costituiscono le partizioni del fabbricato e i relativi materiali che ne caratterizzano la stratigrafia:

- Stratigrafie elementi orizzontali

Solaio controterra

Codice		N°	Descrizione strato	Spessore [m]
S1		1	Piastrelle in ceramica	0.01
		2	Sottofondo di cemento magro	0.065
		3	Soletta in cls armato	0.05

Solaio interpiano

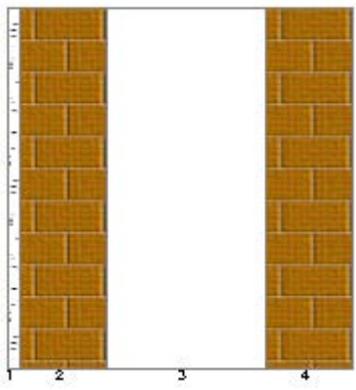
Codice		N°	Descrizione strato	Spessore [m]
S2		1	Piastrelle in ceramica	0.01
		2	Sottofondo di cemento magro	0.07
		3	Soletta in cls armato	0.05
		4	Blocchi in laterizio	0.18
		5	Intonaco di calce e gesso	0.01

Solaio di copertura

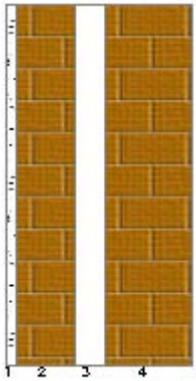
Codice		N°	Descrizione strato	Spessore [m]
S3		1	Fibre minerali feldspatiche	0.03
		2	Soletta in cls armato	0.05
		3	Blocchi in laterizio	0.18
		4	Intonaco di gesso e sabbia	0.01

- Stratigrafie elementi verticali

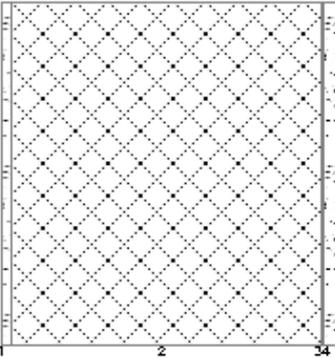
Muro esterno

Codice		N°	Descrizione strato	Spessore [m]
M1		1	Intonaco di calce e gesso	0.015
		2	Muratura in laterizio pareti esterne	0.12
		3	Intercapedine non ventilata	0.22
		4	Muratura in laterizio pareti esterne	0.12

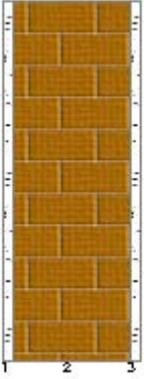
Muro sottofinestra

Codice		N°	Descrizione strato	Spessore [m]
M2		1	Intonaco di calce e gesso	0.015
		2	Muratura in laterizio pareti esterne	0.08
		3	Intercapedine non ventilata	0.04
		4	Muratura in laterizio pareti esterne	0.12

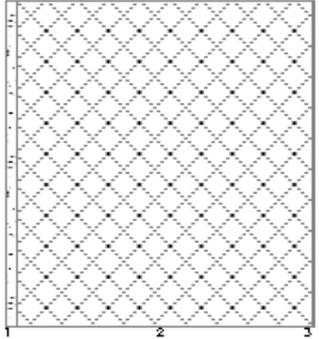
Muro esterno piano seminterrato

Codice		N°	Descrizione strato	Spessore [m]
M3		1	Intonaco di calce e gesso	0.015
		2	Muratura in cls	0.45
		3	Impermeabilizzazione in asfalto	0.001
		4	Intonaco di calce e gesso	0.015

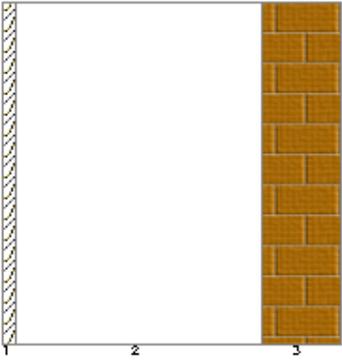
Parete verso locali non riscaldati

Codice		N°	Descrizione strato	Spessore [m]
M4		1	Intonaco di calce e gesso	0.015
		2	Muratura in laterizio pareti esterne	0.16
		3	Intonaco di calce e gesso	0.015

Muro controterra

Codice		N°	Descrizione strato	Spessore [m]
M5		1	Intonaco di calce e gesso	0.015
		2	Muratura in cls	0.45
		3	Impermeabilizzazione in asfalto	0.001

Muro soprafinestra (cassonetto)

Codice		N°	Descrizione strato	Spessore [m]
M6		1	Legno di abete	0.02
		2	Intercapedine debolmente ventilata	0.37
		3	Muratura in laterizio pareti esterne	0.12

- Elementi verticali trasparenti

I serramenti esterni che compongono le chiusure trasparenti, appartengono a tipologie diverse a seconda delle dimensioni e del materiale che costituisce il telaio, metallico o in legno. Tutte le finestre possiedono chiusure formate da un vetro singolo.



Fig. 2.6 – Esempio serramento tipo

Dopo aver individuato la composizione stratigrafica, le dimensioni e le proprietà degli elementi di partizione interna ed esterna, si sono calcolati i valori delle trasmittanze termiche al fine di determinare le dispersioni energetiche dell'edificio.

Tali valori sono stati calcolati secondo le direttive della norma UNI EN 6946 per i componenti opachi e UNI EN 10077-1 per i componenti trasparenti.

ELEMENTI ORIZZONTALI OPACHI							
tipologia	codice elemento	materiali	spessore d [m]	conducibilità termica $\lambda$ [W/mK]	$R = d/\lambda$ [m <sup>2</sup> K/W]	$\Sigma R_i$ [m <sup>2</sup> K/W]	<b>U</b> [W/m <sup>2</sup> K]
Solaio controterra	S1	Resistenza superficiale interna	-	-	0.170	0.334	<b>2.996</b>
		Piastrelle in ceramica	0.010	1.300	0.008		
		sottofondo di cemento magro	0.065	0.700	0.093		
		soletta in cls	0.050	2.150	0.023		
		Resistenza superficiale esterna	-	-	0.040		
Solaio interpiano	S2	Resistenza superficiale esterna	-	-	0.170	0.758	<b>1.319</b>
		Piastrelle in ceramica	0.010	1.300	0.008		
		sottofondo di cemento magro	0.070	0.700	0.100		
		soletta in cls armato	0.050	2.150	0.023		
		Blocchi in laterizio	0.180	0.660	0.273		
		Intonaco	0.010	0.700	0.014		
		Resistenza superficiale interna	-	-	0.170		
Solaio copertura	S3	Resistenza superficiale esterna	-	-	0.100	1.175	<b>0.851</b>
		Fibre minerali feldspatiche	0.030	0.045	0.667		
		soletta in cls armato	0.050	2.150	0.023		
		Blocchi in laterizio	0.180	0.660	0.273		
		Intonaco	0.010	0.800	0.013		
		Resistenza superficiale interna	-	-	0.100		

ELEMENTI VERTICALI OPACHI							
Tipologia	Codice elemento	Descrizione strato	Spessore d [m]	Conducibilità termica $\lambda$ [W/mK]	R= d/ $\lambda$ [m <sup>2</sup> K/W]	$\Sigma R_i$ [m <sup>2</sup> K/W]	U [W/m <sup>2</sup> K]
Esterno	M1	Resistenza superficiale interna	-	-	0.130	0.915	1.092
		Intonaco	0.015	0.700	0.021		
		Muratura in laterizio	0.120	0.410	0.293		
		Intercapedine d'aria	0.220	1.222	0.180		
		Muratura in laterizio	0.120	0.540	0.222		
		Resistenza superficiale esterna	-	-	0.069		
Sottofinestra	M2	Resistenza superficiale interna	-	-	0.130	0.818	1.223
		Intonaco	0.015	0.700	0.021		
		Muratura in laterizio	0.080	0.410	0.195		
		Intercapedine d'aria	0.040	0.222	0.180		
		Muratura in laterizio	0.120	0.540	0.222		
		Resistenza superficiale esterna	-	-	0.069		
Esterno P.S.	M3	Resistenza superficiale interna	-	-	0.130	0.530	1.887
		Intonaco	0.015	0.700	0.021		
		Muratura in cls	0.450	1.610	0.280		
		Impermeabilizzazione in asfalto	0.001	0.700	0.001		
		Intonaco	0.020	0.700	0.029		
		Resistenza superficiale esterna	-	-	0.069		
interno	M4	Resistenza superficiale interna	-	-	0.130	0.538	1.858
		Intonaco	0.015	0.700	0.021		
		Muratura in laterizio	0.160	0.680	0.235		
		Intonaco	0.015	0.700	0.021		
		Resistenza superficiale esterna	-	-	0.130		
Controtierra	M5	Resistenza superficiale interna	-	-	0.130	0.472	2.117
		Intonaco	0.015	0.700	0.021		
		Muratura in cls	0.450	1.610	0.280		
		Impermeabilizzazione in asfalto	0.001	0.700	0.001		
		Resistenza superficiale esterna	-	-	0.040		
Cassonetto	M6	Resistenza superficiale interna	-	-	0.130	0.597	1.674
		legno di abete	0.021	0.120	0.176		
		Intercapedine d'aria	0.370	1.222	0.303		
		Muratura in laterizio	0.120	0.540	0.222		
		Resistenza superficiale esterna	-	-	0.069		

ELEMENTI VERTICALI TRASPARENTI								
tipologia	codice elemento	materiali	b [m]	h [m]	l [m]	A [m <sup>2</sup> ]	$\psi$ [W/mK]	U [W/m <sup>2</sup> K]
serramenti esterni	W1	serramento metallico	1.07	1.24	4.62	1.33	0.242	5.287
	W2	serramento metallico	1.24	1.37	5.22	1.70	0.242	5.993
	W3	serramento metallico	1.20	1.90	6.20	2.28	0.242	2.387
	W4	serramento metallico	1.35	2.40	7.50	3.24	0.242	1.851
	W5	serramento in legno	1.00	1.90	5.80	1.90	0.242	3.671
	W6	serramento in legno	2.35	1.90	8.50	4.47	0.242	3.820

### 2.3.1.2 Dispersioni termiche per trasmissione e ventilazione

Il calcolo del flusso termico disperso dall'edificio è stato effettuato secondo le direttive fornite dalla normativa UNI EN 12831, determinando tutti i parametri e coefficienti necessari.

La potenza termica persa per trasmissione è data dalla somma di più contributi:

$$-\Phi_c = (H_{T,e} + H_{T,nr} + H_{T,i} + H_{T,t}) * (\tilde{\theta}_i - \tilde{\theta}_e^*)$$

dove:

- $H_{T,e}$  è il coefficiente di perdita per trasmissione tra ambiente riscaldato ed ambiente esterno (W/K);
- $H_{T,nr}$  è il coefficiente di perdita per trasmissione tra ambiente riscaldanti e ambienti adiacenti non riscaldati (W/K);
- $H_{T,i}$  è il coefficiente di perdita per trasmissione tra ambiente riscaldato ed ambienti adiacenti riscaldati ad una temperatura interna significativamente diversa dalla temperatura di progetto dell'ambiente interno (W/K);
- $H_{T,t}$  è il coefficiente di perdita per trasmissione tra ambiente riscaldato e terreno (W/K);
- $\tilde{\theta}_i$  è la temperatura interna di progetto fornita dall'allegato nazionale alla norma UNI EN 12831 (20°C per le aule scolastiche);
- $\tilde{\theta}_e^*$  è la temperatura esterna di progetto che è fornita a livello italiano dalla norma UNI 5364 (-8°C nel Comune di Asti, zona climatica E).

### Calcolo di $H_{T,e}$

PIANO SEMINTERRATO								
orient	chiusura	tipologia	codice	n° elem	U [W/m²K]	A [m²]	e	H <sub>T,e,i</sub> [W/K]
N	opaco	parete	M3	1	1.886	12.33	1.2	27.91
	somma							27.91
S	opaco	parete	M3	1	1.886	5.12	1	9.66
	trasparente	finestra	W1	3	5.287	1.33	1	21.10
	somma							30.75
E	opaco	parete	M3	1	1.886	23.28	1.15	50.49
	trasparente	finestra	W1	5	5.287	1.33	1.15	40.43
			W2	1	5.248	1.7	1.15	10.26
	somma							101.18
O	opaco	parete	M3	1	1.886	17.31	1.1	35.91
	trasparente	finestra	W1	2	5.287	1.33	1.1	15.47
	somma							51.38
Parziale							211.22	

PIANI FUORI TERRA								
orient	chiusura	tipologia	codice	n° elem	U [W/m <sup>2</sup> K]	A [m <sup>2</sup> ]	e	H,Te,i [W/K]
N	opaco	parete	M1	1	1.092	114.88	1.2	150.54
			M2	2	1.222	0.97	1.2	2.84
			M2	6	1.222	2.28	1.2	20.06
			M6	2	1.674	0.35	1.2	1.41
			M6	6	1.674	0.82	1.2	9.88
	trasparente	finestra	-	7	1.6	4.44	1.2	59.67
			W5	6	3.671	1.9	1.2	50.22
	W6	6	3.82	4.47	1.2	122.94		
somma								417.57
S	opaco	parete	M1	1	1.092	144.24	1	157.51
			M2	27	1.222	1.16	1	38.27
			M6	27	1.674	0.42	1	18.98
		pilastro	-	10	1.6	3	1	48.00
	trasparente	finestra	W3	27	2.387	2.28	1	146.94
somma								409.71
E	opaco	parete	M1	1	1.092	157.46	1.15	197.74
			M2	20	1.222	1.16	1.15	32.60
			M6	20	1.674	0.42	1.15	16.17
		pilastro	-	7	1.6	3	1.15	38.64
	trasparente	finestra	W3	20	2.387	2.28	1.15	125.17
			W4	1	1.851	3.24	1.15	6.90
somma								417.22
O	opaco	parete	M1	1	1.092	130.39	1.1	156.62
			M2	9	1.222	1.16	1.1	14.03
			M6	9	1.674	0.42	1.1	6.96
		pilastro	-	3	1.6	3.89	1.1	20.54
	trasparente	finestra	W3	9	2.387	2.28	1.1	53.88
somma								252.04
TETTO	opaco	solaio	S3	1	0.851	331.6	1	282.19
Parziale								1778.73

PONTI TERMICI								
orient	chiusura	tipologia	codice	n° elem	$\psi$ [W/mK]	l [m]	e	H,Te,i [W/K]
N	pt	par/sol	IF2	1	0.995	12.91	1.2	15.41
	p1			1	0.995	17.15	1.2	20.48
	p2			1	0.995	17.15	1.2	20.48
	tetto	par/cop	R2	1	0.43	17.15	1.2	8.85
	W18	par/tel	-	6	0.242	5.8	1.2	10.11
	W22		-	6	0.242	8.5	1.2	14.81
	somma							
S	pt	par/sol	IF2	1	0.995	25.2	1	25.07
	p1			1	0.995	25.2	1	25.07
	p2			1	0.995	25.2	1	25.07
	tetto	par/cop	R2	1	0.43	25.2	1	10.84
	W12	par/tel	-	6	0.242	6.2	1	9.00
	somma							
E	pt	par/sol	IF2	1	0.995	23.43	1.15	26.81
	p1			1	0.995	23.43	1.15	26.81
	p2			1	0.995	23.43	1.15	26.81
	tetto	par/cop	R2	1	0.43	23.43	1.15	11.59
	W12	par/tel	-	20	0.242	6.2	1.15	34.51
	w13		-	1	0.242	7.5	1.15	2.09
	somma							
O	pt	par/sol	IF2	1	0.995	16	1.1	17.51
	p1			1	0.995	16	1.1	17.51
	p2			1	0.995	16	1.1	17.51
	tetto	par/cop	R2	1	0.43	16	1.1	7.57
	W12	par/tel	-	9	0.242	6.2	1.1	14.85
	somma							
Parziale								388.76

$$H_{T,e} = 2378.72 \text{ W/K}$$

Calcolo di  $H_{T,nr}$

chiusura	tipologia	codice	n° elem	U [W/m <sup>2</sup> K]	A [m <sup>2</sup> ]	bu	H,Tnr [W/K]
opaca	parete	M4	1	1.858	21.03	0.6	23.44

Calcolo di  $H_{T,i}$

chiusura	tipologia	codice	n° elem	U [W/m <sup>2</sup> K]	A [m <sup>2</sup> ]	fij	H,Ti [W/K]
opaca	parete	M4	1	1.858	118.05	0.14	31.33
opaca	parete	M4	1	1.858	123.24	0.14	32.71
opaca	parete	M4	1	1.858	221.34	0.14	58.75
opaca	parete	M4	1	1.858	221.34	0.14	58.75
Totale							181.55

Calcolo di  $H_{T,t}$

chiusura	tipologia	codice	U [W/m <sup>2</sup> K]	P [m]	Ag [m <sup>2</sup> ]	B' [m]	Ueq [W/m <sup>2</sup> K]	fg1	fg2	Gw	H,Tt [W/K]
opaco	solaio	S1	2.996	50	171.38	6.86	0.48	1.45	0.28	1.15	37.72
chiusura	tipologia	codice	U [W/m <sup>2</sup> K]	P [m]	Ap [m <sup>2</sup> ]	z [m]	Ueq [W/m <sup>2</sup> K]	fg1	fg2	Gw	H,Tt [W/K]
opaco	parete	M5	2.117	50	82.50	1.65	1.05	1.45	0.28	1.15	39.72
Totale											77.45

Calcolo della potenza termica di trasmissione  $\Phi_c$

H,Te [W/K]	H,Tnr [W/K]	H,Ti [W/K]	H,Tt [W/K]	$\theta_i$ [°C]	$\theta_e$ [°C]	$\Phi_c$ [kW]
2378.72	23.44	181.55	77.45	20	-8	74.51

La norma UNI EN 12831 prende in considerazione anche gli scambi d'aria che avvengono tra l'ambiente interno con l'ambiente esterno e con ambienti diversi (non riscaldati e/o riscaldati a temperature diverse). Analogamente al calcolo delle perdite per trasmissione, la norma introduce il concetto di coefficiente di perdita per ventilazione  $H_v$ :

$$|\Phi_A| = H_{V,i}(\tilde{\theta}_i - \theta_e^*)$$

dove:

$$H_{V,i} = H_{V,e} + H_{V,L}$$

- $H_{V,e}$  è il coefficiente di perdita per ventilazione con l'ambiente esterno [W/K];

- $H_{V,L}$  è il coefficiente di perdita per ventilazione con ambienti limitrofi non riscaldati o riscaldati a temperatura diversa da  $\tilde{\theta}_i$  [W/K].

Per il caso oggetto di studio la ventilazione è di tipo naturale, pertanto si trascurano le perdite dovute alle infiltrazioni da locali limitrofi ( $H_{V,L} = 0$ )

#### Calcolo di $H_{V,e}$

Tale coefficiente è definito dalla formula:

$$H_{V,e} = q \rho_{int} c_{p,int}$$

dove:

- $q$  è la portata volumetrica di aria globalmente scambiata dall'ambiente riscaldato con l'esterno [m<sup>3</sup>/s];
- $\rho_{int}$  è la massa volumica dell'aria valutata alla temperatura interna dell'ambiente,  $\tilde{\theta}_i$ ;
- $c_{p,int}$  è la capacità termica massica a pressione costante dell'aria (umida), valutata nelle condizioni termoigrometriche interne.

Assumendo per  $\rho_{int}$  e  $c_{p,int}$  valori costanti e pari, rispettivamente a 1,20 kg/m<sup>3</sup> e 1004 J/(kgK). Per la quantificazione della portata  $q$  si assume:

$$q = \text{Max}(q_{inf}; q_{ig})$$

dove:

- $q_{inf}$  = è la portata di aria di infiltrazione che entra in ambiente attraverso fessure e la non perfetta tenuta dei giunti dell'involucro edilizio. Tali infiltrazioni sono causate dall'effetto dinamico del vento e del galleggiamento (legati, questi ultimi, alla differenza di temperatura fra ambiente interno ed esterno):

$$q_{inf} = 2 \cdot V \cdot n_{50} \cdot e_i \cdot \varepsilon_i$$

V [mc]	n <sub>50</sub> [1/h]	e <sub>i</sub>	ε <sub>i</sub>	q <sub>inf</sub> [m <sup>3</sup> /h]
3760	5	0.02	1	752

- q<sub>ig</sub> = è la portata di aria esterna di ventilazione necessaria per fini igienici a garantire una soddisfacente qualità dell'aria indoor o IAQ.

$$q_{ig} = n_{min} \cdot V$$

V [mc]	n <sub>min</sub> [1/h]	q <sub>ig</sub> [m <sup>3</sup> /h]
3760	2	7520

q [m <sup>3</sup> /h]	ρ <sub>int</sub> [kg/mc]	c <sub>p,int</sub> [J/kg·K]	H <sub>v,e</sub> [W/K]
7520	1.2	1004	2516.69

#### Calcolo della potenza termica di trasmissione Φ<sub>a</sub>

H <sub>v,e</sub> [W/K]	H <sub>v,L</sub> [W/K]	H <sub>v,i</sub> [W/K]	θ <sub>i</sub> [°C]	θ <sub>e</sub> [°C]	Φ <sub>a</sub> [KW]
2516.69	0	2516.69	20	-8	70.47

#### 2.3.1.3 Impianto di riscaldamento

Attraverso il sopralluogo alla scuola e dai dati forniti dai tecnici del Comune, l'impianto di riscaldamento è costituito da un generatore alimentato a gas metano; in particolar modo si tratta di una caldaia a condensazione modulare della potenza di 297 kW. La caldaia non è di recentissima installazione, avvenuta circa sette o otto anni fa, e risulta notevolmente sovradimensionata per il fabbisogno richiesto. Inoltre il generatore, non ha mai avuto guasti o necessità di alcun intervento di manutenzione se non quelli previsti dalla normativa, risultando perciò in buono stato. L'impianto di distribuzione, ad acqua, risulta essere quello originario alla fase di installazione durante la costruzione dell'edificio. I terminali di erogazione del calore sono costituita da radiatori

in ghisa: negli anni, sono stati dotati di valvole termostatiche, o termovalvole, ma per mancata manutenzione degli addetti e attenzione degli utenti del fabbricato, molte sono state danneggiate o rimosse senza poi venir sostituite.

### 2.3.1.4 Valutazione dei consumi

L'analisi dei consumi energetici, in base ai dati forniti, si rifanno al triennio 2014-2016

Anno scolastico	Energia elettrica [kWh]	Gas metano [mc]
2013/2014	18251	12586
2014/2015	16709	12822
2015/2016	17183	12800

I consumi di energia elettrica sono dovuti quasi esclusivamente all'impianto di illuminazione, costituito da plafoniere e pannelli a soffitto al neon, e dall'ascensore per il sistema di elevazione. I consumi di gas metano si riferiscono al solo utilizzo dell'impianto di riscaldamento.

Sulla base di questi dati, sono stati calcolati i valori di emissioni di anidride carbonica applicando appositi coefficienti di conversione:

Gas metano [mc]	Fattore conversione kWh/m <sup>3</sup> gas metano	Fabbisogno gas [kWh]	kgCO <sub>2</sub> /kWh di gas metano	kgCO <sub>2</sub>
12822	10.5	134631	0.2019	27182

Fabbisogno energia eltr. [kWh]	kgCO <sub>2</sub> /kWh di gas metano	kgCO <sub>2</sub>
18251	0.54	9856

Ogni anno, quindi, vengono immessi in atmosfera un totale di 37038 kgCO<sub>2</sub>.

Valutando le emissioni di CO<sub>2</sub> in relazione al volume del fabbricato, pari a circa 5752 m<sup>3</sup>, si ottiene un valore di 6.44 kgCO<sub>2</sub>/ m<sup>3</sup>anno.

### 2.3.2 Aspetti strutturali

La struttura è costituita da un unico edificio intelaiato in c.a.o. realizzato nell'anno 1960 e la sopraelevazione di un piano nel 1968.

Fondamentalmente la struttura portante è composta da una serie di telai orditi secondo un'unica direzione, senza alcun telaio di controventamento. L'edificio si articola su tre livelli fuori terra oltre ad un piano seminterrato.

L'interpiano è all'incirca pari a 3.55 m per un'altezza complessiva di 14.20 m; se non si considera la parte interrata il fabbricato si eleva dal piano campagna per un'altezza di circa 12.5 m.

La configurazione planimetrica dell'edificio, così come riportato nelle tavole di rilievo nell'allegato A, è molto irregolare. L'edificio è dotato di due scale ed in origine era privo di ascensore. La scala sul lato nord è delimitata, sul suo lato di testa esterno, da una parete in vetrocemento.

I pilastri hanno sezioni, di forma rettangolare o quadrata, variabile a seconda di dove sono localizzati: i pilastri interni hanno sezione pari a 40x40 cm, i pilastri esterni hanno sezione pari a 40x40 cm sul lato nord, 45x27 cm sul lato est e sud e 45x35 cm sul lato ovest. Le dimensioni delle sezioni si mantengono costanti per l'intero sviluppo verticale a tutti i piani.

Le travi principali, di sezione pari a 40x70h cm, sono tutte emergenti all'intradosso (di una misura pari a circa 38 cm).



Fig. 2.7 – Nodo di intersezione tra trave ribassata e pilastro

I solai sono costituiti da una struttura in latero-cemento con blocchi in laterizio, di altezza pari a 18 cm, e travetti in c.a. con passo 50 cm. La luce dei solai, misurati al netto delle ali delle travi portanti, varia da 3.15 m a 5.65 m.

Le rampe di scale sono realizzate secondo lo schema “a doppio ginocchio”.

Al momento della progettazione dei futuri interventi strutturali non è disponibile nessun elaborato progettuale originale.

Chiaramente non è disponibile il reale tracciamento delle fondazioni. Non avendo ancora effettuato saggi al piano interrato per individuare la tipologia e le dimensioni delle strutture, si può supporre, per analogia del manufatto con altri della stessa tipologia, destinazione d’uso e anno di costruzione, che le fondazioni siano di tipo continuo, nella fattispecie travi rovesce.

Lungo il perimetro ovest e sud dell’edificio, infine, è presente un’intercapedine avente larghezza rispettivamente pari a circa 110 cm e 120 cm, delimitata sul lato esterno da un muro in c.a.o. spesso 30 cm.

Per poter caratterizzare la resistenza meccanica del calcestruzzo delle strutture portanti e rilevare la qualità e quantità di armature metalliche presenti, è necessario provvedere con indagini agli ultrasuoni, prove sclerometriche e saggi sugli elementi strutturali.

Non potendo ancora stabilire quali siano le proprietà meccaniche dei materiali utilizzati per gli elementi portanti, si può pensare che non siano molto differenti da quelli utilizzati negli anni ’60 per l’edificazione di fabbricati simili. Da indagini effettuati su edifici scolastici costruiti nel medesimo periodo, stesso numero di piani e dimensioni simili è emerso che, per quanto riguarda la tipologia di cemento, venivano utilizzati cementi di classe C16/20 o C20/25. Invece, per quanto riguarda le armature metalliche, si utilizzavano acciai di tipo FeB32 o FeB44 con ferri per le barre longitudinali e per le staffature lisce e solo in qualche caso, per lo più nelle travi, era possibile trovare barre ad aderenza migliorata.

### 2.3.2.1 Stato conservativo della struttura

Le condizioni generali di conservazione della struttura sono abbastanza buone.

Non si rilevano lesioni significative a carico di trave e pilastri o solai.

Vista la scelta progettuale di realizzare travi con luce variabile compresa tra 4.80 e 5.60 m da asse ad asse dei pilastri è importante verificare, anche se non visibili, la presenza di eventuali problemi di inflessione dovuta a fenomeni viscosi lenti verificatisi nel conglomerato cementizio.

Le strutture esterne in c.a.o. si presentano in discreto stato di conservazione: è comunque da far rilevare che tutte le strutture in c.a.o. originariamente di tipo faccia a vista non sono mai state ricoperte, durante gli anni di esercizio dell'edificio, con intonaci protettivi. Ciò non ha compromesso in maniera considerevole lo stato di conservazione sia del conglomerato cementizio, sia delle armature; solo in pochissimi casi si rilevano tracce evidenti di distacco del materiale cementizio e di ossidazione delle armature.



Fig. 2.8 – Elementi di degrado nelle strutture esterne

### 2.3.3 Aspetti non strutturali

Attraverso il sopralluogo all'edificio scolastico sono stati analizzati gli aspetti relativi alle parti non strutturali che possono compromettere la sicurezza degli occupanti della scuola, vista come ambiente di lavoro. Facendo riferimento al D.lgs 81/08, si sono rilevati gli elementi che non rispettano i requisiti di salubrità degli ambienti e il benessere di chi ne usufruisce.

Sulle pareti del fabbricato sono evidenti fenomeni di degrado: all'interno sono presenti deterioramenti dell'intonaco dovuti alla formazione di muffe in corrispondenza delle porte dell'ascensore. Questo fenomeno è dovuto al fatto che le pareti esterne del vano ascensore non sono isolate e in corrispondenza della loro intersezione con la muratura dell'edificio si crea condensa.



*Fig. 2.9 – Fenomeno di degrado dovuto a muffe*

Sulle pareti esterne invece, è stato riscontrato il degrado molto evidente dell'intonaco sul lato est dell'edificio, in corrispondenza dell'intersezione tra il pluviale interno alla muratura e quello esterno. E' presumibile che vi siano perdite d'acqua a causa di uno scadente allacciamento tra i due pluviali.



*Fig. 2.10 – Infiltrazioni d'acqua dal pluviale*

In relazione ai controsoffitti, sono stati individuati nella zona adibita a mensa e nelle aule. Si tratta di controsoffitti leggeri costituiti da pannelli quadrati 60x60 cm. Le controsoffittature sono in buono stato e non presentano fenomeni di degrado. E' necessaria, però, un'attenta indagine dello stato dei solai e di eventuali impianti coperti dai controsoffitti.



*Fig. 2.11 – Controsoffitti a pannelli*

All'interno dell'edificio è stata riscontrata una pessima situazione in cui versano le porte di accesso alle aule: nel migliore dei casi le porte, costituite da un pannello in plexiglass di facile sfondamento, presentano segni di usura dovuti al tempo e alla scarsa manutenzione; altre, invece, oltre all'usura, non contengono più il pannello di plexiglass che è stato sostituito con semplici fogli di cartone.



*Fig. 2.12 – Porte interne: semplice usura del tempo (a), sostituzione plexiglass con cartone (b)*

E' stata inoltre verificata l'inadeguatezza dei parapetti delle scale: la spaziatura tra i montanti delle ringhiere è di 12 cm, superiore ai 10 cm imposti dalla legge. Questa rappresenta un grave pericolo dato che ad usufruire delle scale sono per la quasi totalità dei bambini..



*Fig. 2.13 – Ringhiera scale*

Sulle rampe esterne di collegamento tra il cortile e l'uscita sul lato est sono state riscontrate due criticità: la prima relativa alla presenza di efflorescenze e distacco dell'intonaco, la seconda riguarda la superficie liscia della rampa che rappresenta un pericolo di scivolamento per utenti in caso di umidità.



*Fig. 2.14 – Degrado rampe inclinate lato est*

Sul lato ovest, la copertura della scala esterna, è presente una tettoia in plexiglass in pessime condizioni: in alcuni punti sono presenti fori che consentono all'acqua piovana di bagnare la scala sottostante rendendone la superficie scivolosa.



*Fig. 2.15 – Copertura scala esterna lato ovest*

Con il sopralluogo alla scuola è stato anche possibile evidenziare la scarsa manutenzione dell'area esterna, utilizzata durante gli intervalli di ricreazione o per l'attività motoria, quando le condizioni climatiche lo consentono. I dissesti dell'area esterna, come ad esempio l'affioramento delle radici, sono fonte di pericolo per gli allievi, ricordando che hanno un'età compresa tra 6 e 10 anni, poiché per distrazione potrebbero cadere ed infortunarsi.



*Fig. 2.16 – Scarsa manutenzione area esterna*



*Fig. 2.17 – Dissesto area esterna*

### **2.3.4 Misure per la prevenzione incendi**

In materia di sicurezza e prevenzione incendi per l'edilizia scolastica, si fa riferimento al Testo Coordinato del D.M. 26 agosto 1992, tenendo presente delle deroghe per gli edifici preesistenti all'emanazione del D.M. 18 dicembre 1975.

La scuola, in relazione alle presenze effettive contemporanee prevedibili di alunni e di personale docente e non docente, ricade nella classificazione di tipo 1: scuole con numero di presenze contemporanee da 101 a 300 persone.

Come prima cosa, si è valutato il sistema di vie di uscita: Ogni scuola deve essere provvista di un sistema organizzato di vie di uscita dimensionato in base al massimo affollamento ipotizzabile in funzione della capacità di deflusso, che non deve essere superiore a 60, ed essere dotata di almeno due uscite verso luogo sicuro. Gli spazi frequentati dagli alunni o dal personale docente e non docente, qualora distribuiti su più piani, devono essere dotati, oltre che dalla scala che serve al normale deflusso, almeno di una scala di sicurezza esterna o di una scala a prova di fumo o a prova di fumo interna.

Nel caso in esame il dimensionamento delle vie di uscita è rispettato, infatti la larghezza non risulta mai inferiore a 2 moduli (1.20 m) e la lunghezza massima misurata dal luogo sicuro alla porta più vicina di ogni locale frequentato dagli studenti risulta di circa 25 m, inferiori ai 60 m previsti dalla normativa. Nel fabbricato sono presenti due scale: una per il normale deflusso e una seconda come scala a prova di fumo interna. Per quest'ultima viene però a mancare il requisito di essere a prova di fumo, poiché al piano rialzato la scala non è compartimentata e non è presente alcun filtro, tanto meno un sistema di ventilazione per l'evacuazione dei fumi.

La compartimentazione dei filtri ai piani seminterrato, primo e secondo avviene per mezzo di pareti con blocchi di cls da 25 cm e con porte REI 180 di larghezza pari a 1.80 m (3 moduli); al piano rialzato, non è presente un filtro a prova di fumo e l'atrio e l'ingresso sono collegati da una porta REI 60 di larghezza 1.20 m (2 moduli). Tutte le porte antincendio sono sprovviste di un dispositivo fermaporta.

Sempre in riferimento alla compartimentazione, viene a mancare tale requisito per i depositi e ripostigli che sono sprovvisti di porte tagliafuoco e, talvolta, le pareti divisorie non hanno spessori adeguati.

A livello dimensionale, le scale sono costituite da rampe rettilinee parallele di larghezza pari a 1.20 m e gradini, 11 per ogni rampa, con alzata pari a 16 cm e pedata 30 cm. Sono quindi rispettati i limite imposti dalla normativa.

Il numero di uscite di sicurezza dall'edificio sono due e sono localizzate una sul lato nord, corrispondente all'ingresso principale, e una sul lato est, dove si trova la mensa. Nel caso in cui l'evacuazione avvenisse durante il servizio mensa, la seconda uscita di sicurezza verrebbe utilizzata soltanto dai suoi occupanti, poiché l'esodo avverrebbe sia verso tale uscita che verso l'atrio, in direzione dell'ingresso principale. Pertanto il flusso di persone proveniente dai piani superiori può utilizzare come uscita di sicurezza soltanto quella sul lato nord, poiché per quella sul lato est bisogna attraversare una porta da cui passa un flusso di persone contrario proveniente dalla mensa.

Per il piano seminterrato le vie di fuga sono individuate attraverso la scala sul lato nord e una scala esterna, che permette anche di accedere all'intercapedine, sul lato ovest. Questa scala esterna però non rispetta la larghezza minima di 1.20 m, poiché misura 1.10 m circa.

Sono stati poi individuati il sistema di illuminazione di sicurezza, l'impianto di diffusione sonora, corrispondente all'impianto a campanelli, e i dispositivi di estinzione incendi costituiti da idranti, obbligatorio per le scuole di tipo 1, e da due estintori portatili su ogni piano rispettando così le disposizioni normative.

### **2.3.5 Presenza di barriere architettoniche**

Riguardo l'accessibilità alle scuole e l'abbattimento delle barriere architettoniche, bisogna far riferimento alle disposizioni fornite dall'articolo 28 della legge 118/1971, che pone l'obbligo di rendere accessibile l'edificio scolastico, in modo da poter così garantire la frequenza scolastica a tutti, dall'articolo 18 del DPR 384/1978, che ribadisce tale principio in maniera esplicita imponendo di rendere accessibili gli edifici delle istituzioni prescolastiche, scolastiche, compresi gli Atenei universitari e le altre istituzioni di interesse sociale nella scuola, e dal D.M. 236 del 14 giugno 1989, che indica gli standard in base ai quali bisogna adeguare le strutture interne ed esterne.

Dal sopralluogo e dagli elaborati grafici sono state inizialmente rilevate le dimensioni caratteristiche delle rampe di accesso all'edificio: le rampe di collegamento con l'ingresso principale, disposte in serie, hanno lunghezze pari a 1.50 m, 6.30 m e 7.70 m, larghezza pari a 1.50 m e pendenze del 9%; le rampe di collegamento con l'accesso secondario, sul lato est, disposte in parallelo, hanno lunghezze pari a 8.70 m, 8.20 m e 6.10 m, larghezza pari a 1.50 m e pendenze del 7%. Risultano pertanto conformi ai requisiti normativi.

Il secondo aspetto verificato riguardava la larghezza delle porte di accesso all'edificio e delle altre porte interne, per le quali la normativa impone una dimensione minima

rispettivamente di 0.80 m e 0.75 m; nel fabbricato in esame le porte d'ingresso, sia per quello principale che per quello secondario, hanno larghezza pari a 1.20 m mentre le porte interne sono pari a 0.80 m.

Le criticità, che richiedono quindi interventi di adeguamento normativo per il superamento delle barriere architettoniche, sono state individuate in corrispondenza dell'accesso ai servizi igienici dei piani seminterrato, primo e secondo. Tale ostacolo è formato da un gradino di altezza pari a 10 cm sulla soglia dell'antibagno e di un secondo gradino della medesima altezza in corrispondenza della porta del bagno.



*Fig. 2.18 – Gradini di ostacolo per l'accesso ai servizi igienici*

Sono state poi analizzate le caratteristiche dimensionali dei corridoi e dell'ascensore, 1.40 m di profondità e 1.00 m di larghezza, risultando conformi alle prescrizioni normative.

### 2.3.6 Aspetti funzionali

Le attività scolastiche e di servizio si svolgono in locali che all'interno dell'edificio sono così distribuiti:

- al piano seminterrato: la palestra con i relativi spogliatoi, un'aula pre scuola, i servizi igienici, un locale tecnico (centrale termica accessibile solo dall'esterno) e un locale per attività di laboratorio ma inutilizzato;
- al piano rialzato: l'ingresso principale, l'atrio, un locale per gli inservienti, i servizi igienici, un'aula didattica, la mensa, un accesso secondario e un locale per la ricezione cibi;
- al piano primo: cinque aule didattiche, un'aula più piccola utilizzata per attività di gruppo, i servizi igienici e una piccola biblioteca;
- al piano secondo: cinque aule didattiche, un'aula più piccola utilizzata per attività di gruppo, i servizi igienici e un laboratorio di informatica.



Fig. 2.19 – Vista atrio e scala lato ovest ( a sinistra) e mensa (a destra)



*Fig. 2.20 – Vista biblioteca ( a sinistra) e corridoio (a destra)*

Analizzando le planimetrie e la distribuzione dei locali, riportate nell'allegato A, sono emersi aspetti che vanno in senso contrario all'evoluzione della didattica sviluppatasi negli ultimi anni. Tali incongruenze sono state anche ribadite dalla direzione scolastica, sottolineando la mancanza di aule per attività di laboratorio. Pertanto gli alunni sono costretti a seguire la quasi totalità delle lezioni sempre nella medesima aula, senza un adeguato coinvolgimento dinamico durante l'occupazione della scuola.

E' stata anche esplicitata l'esigenza di avere una sala docenti ed una sala riunioni per permettere agli insegnanti di avere uno spazio a loro dedicato dove poter svolgere le loro attività didattiche al di fuori dell'orario di lezione, riporre materiale scolastico ed effettuare riunioni con tutto il personale in uno spazio adeguato.

Da un punto di vista tecnologico non tutte le aule sono dotate di lavagne interattive multimediali, LIM, e in caso di necessità le sezioni sprovviste devono usufruire del laboratorio di informatica, dove però il numero di postazioni è inferiore al numero di alunni di ogni sezione.

Un altro aspetto negativo è stato riscontrato nello spazio adibito a palestra: sono infatti presenti nella parte centrale quattro pilastri che limitano i movimenti e lo svolgersi di particolari attività. Ciò è di grande importanza perché la scuola collabora con alcune società sportive della città per invogliare gli allievi alla pratica sportiva in diverse discipline.



*Fig. 2.21 – Pilastri nella zona centrale della palestra*

Lo spazio limitato della palestra e le dimensioni ridotte dell'atrio al piano rialzato inoltre, non consentono di avere un locale di dimensioni adeguate dove poter svolgere attività collettive e rappresentazioni teatrali da parte degli allievi.

## CAPITOLO 3

### CASO STUDIO: SCUOLA ELEMENTARE “M. BUONARROTI”

#### - INTERVENTI DI RIQUALIFICAZIONE

L’edificio scolastico in esame presenta molteplici problematiche, legate al consumo di risorse, al benessere dell’ambiente interno, alle condizioni di fruizione e sicurezza e, non ultimo, alla gestione e manutenzione da parte della Pubblica Amministrazione. Purtroppo, nonostante le carenze del patrimonio edilizio scolastico pubblico siano note da molti anni, solamente nell’ultimo periodo le scuole sono state coinvolte all’interno di progetti di investimento di interesse nazionale.

In tale scenario, il presente elaborato di tesi propone una strategia di interventi sul fabbricato esistente, basata sull’adeguamento dell’ambiente fisico e sull’ottimizzazione nell’impiego di risorse, al fine di contribuire, da un lato, all’innalzamento della qualità edilizia e delle condizioni d’uso per l’utente e, dall’altro, al miglioramento della gestione delle risorse economiche a disposizione degli Enti.

Più nel dettaglio, gli argomenti trattati nella riqualificazione scuola primaria M. Buonarroti riguardano il miglioramento energetico, la messa in sicurezza e l’adeguamento funzionale.

### **3.1 Interventi di riqualificazione energetica**

#### **3.1.1 Interventi sull’involucro esterno**

Il Decreto Interministeriale del 26 giugno 2015, in base alla zona climatica in cui si trova l’edificio interessato, pone i seguenti limiti di trasmittanza termica da rispettare per i componenti dell’involucro edilizio soggetto a riqualificazione

Valori limite massimo della trasmittanza termica U per le strutture opache verticali verso l'esterno:

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

Valori limite massimo della trasmittanza termica U per le strutture opache orizzontali o inclinate di copertura verso l'esterno:

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

Valori limite massimo della trasmittanza termica U delle strutture opache orizzontali di pavimento verso l'esterno:

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

Valori limite massimo della trasmittanza termica U delle chiusure trasparenti e dei cassonetti verso l'esterno:

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

Per i componenti opachi, si sono valutate due possibilità per migliorarne le caratteristiche prestazionali: l'insufflaggio di materiale isolante nell'intercapedine e realizzazione di un isolamento termico a cappotto.

- Insufflaggio di materiale isolante

L'insufflaggio nell'intercapedine è una tecnica di isolamento termico a basso costo nata per coibentare edifici esistenti, in particolare quelli costruiti tra il 1960 e il 1990. Negli edifici costruiti in questi anni è facile trovare un'intercapedine tra parete interna ed esterna, una specie di rudimentale cappotto termico esterno che sfrutta il potere isolante dell'aria. Il lavoro di insufflaggio viene effettuato praticando due fori nella parete ed iniettandovi all'interno del materiale isolante che può essere di tre tipologie:

- materiale schiumogeno, (polistirene) ha un basso costo ma dopo pochi anni si sgretola perdendo molte delle sue capacità di isolante termico;
- materiale granulare, (simile al pellet) ha un costo accessibile ma con il tempo il materiale si assesta, formando così dei vuoti d'aria nell'intercapedine che provocano discontinuità nella distribuzione dell'isolante;
- materiale fibroso, ha un costo più elevato rispetto agli altri due materiali ma non hanno problemi di assestamento o degrado. Possono essere in fibra di vetro o in fibra di cellulosa.

A livello di costi-benefici, il materiale fibroso risulta essere il migliore ed è quello più raccomandato per il tipo di edificio su cui bisogna intervenire, tenendo presente che tale tecnica deve essere utilizzata anche per l'isolamento del solaio di copertura. I vantaggi che si hanno nell'insufflaggio sono la velocità e facilità di posa, nonché il poco spazio occupato dalle attrezzature. Inoltre si può operare dall'interno perciò non sono necessarie strutture esterne come i ponteggi. Gli svantaggi di questa tecnica stanno nel fatto che non è possibile risolvere il problema delle dispersioni attraverso i ponti termici, che in una scuola come la M. Buonarroti sono molto elevate.

- realizzazione di un isolamento termico a cappotto

L'isolamento a cappotto è una tecnica per la coibentazione termica di un edificio, che si ottiene applicando del materiale isolante sulla superficie delle pareti.

Nel rivestimento a cappotto esterno non c'è limite allo spessore dei pannelli isolanti: lavorando dall'esterno, possiamo definire lo spessore adatto al materiale scelto, puntando agli obiettivi energetici da raggiungere. La tecnica di realizzazione consiste nell'applicare alle pareti dei pannelli isolanti con colla e appositi sistemi di fissaggio che, successivamente, vengono ricoperti da una rasatura armata e da una finitura spatolata precolorata. Alcuni pannelli possono essere anche dotati di una rete portantonaco per la finitura a malta tradizionale. I pannelli possono essere costituiti da diversi materiali isolanti, ma i più utilizzati sono il polistirene estruso (XPS) ad alta densità o il polistirene espanso sinterizzato (EPS). I vantaggi dell'isolamento a cappotto riguardano una maggiore efficienza delle prestazioni energetiche dell'edificio e l'eliminazione delle dispersioni dovute ai ponti termici. Gli svantaggi riguardano per lo più il maggior costo dell'intervento dovuto ai ponteggi e macchine elevatrici.

La soluzione migliore risulta quella dell'isolamento termico a cappotto: nonostante un costo di poco superiore, vengono eliminati i ponti termici e soprattutto vengono rispettati i limiti dei valori di trasmittanza termica imposti dalla normativa. Con l'insufflaggio alcuni limiti non potevano essere rispettati perché talvolta l'intercapedine da riempire non aveva spessore sufficiente. Inoltre si riesce a risolvere

il problema del piano seminterrato poiché non è presente alcuna intercapedine dato che la muratura è compostata da una parete di calcestruzzo.

Per dare continuità all'isolamento dell'involucro in corrispondenza del muro contro terra, limitando al massimo le dispersioni termiche in quella zona, si è previsto di realizzare, per i locali seminterrati, un rivestimento a cappotto interno per tutta l'altezza del piano creando una sovrapposizione con il cappotto esterno, realizzato dalla linea di terra.

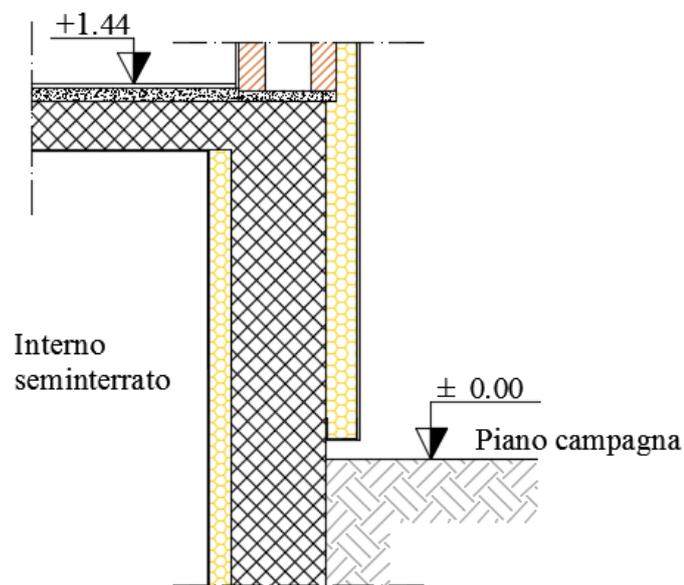


Fig. 3.1 – Sovrapposizione cappotti esterno e interno

Di seguito vengono riportati i risultati delle trasmittanze ottenute, applicando alla stratigrafia originaria dei pannelli di EPS con spessore pari a 10 cm sui componenti verticali in laterizio e 15 cm sugli elementi in cls per eliminare il dislivello tra i due elementi; sui componenti orizzontali dell'involucro esterno, invece, sono stati applicati pannelli in lana di roccia da 12 cm per il solaio contro terra e da 15 cm per il solaio di copertura.

ELEMENTI VERTICALI OPACHI							
tipologia	codice elemento	materiali	spessore d [m]	conducibilità termica $\lambda$ [W/mK]	R= d/ $\lambda$ [m <sup>2</sup> K/W]	$\Sigma R_i$ [m <sup>2</sup> K/W]	U [W/m <sup>2</sup> K]
Esterno	M1	Resistenza superficiale interna	-	-	0.130	3.773	0.265
		Intonaco	0.015	0.700	0.021		
		Muratura in laterizo	0.120	0.410	0.293		
		Intercapedine d'aria	0.220	1.222	0.180		
		Muratura in laterizo	0.120	0.540	0.222		
		Pannello EPS	0.100	0.035	2.857		
Resistenza superficiale esterna	-	-	0.069				
Sottofinestra	M2	Resistenza superficiale interna	-	-	0.130	3.675	0.272
		Intonaco	0.015	0.700	0.021		
		Muratura in laterizo	0.080	0.410	0.195		
		Intercapedine d'aria	0.040	0.222	0.180		
		Muratura in laterizo	0.120	0.540	0.222		
		Pannello EPS	0.100	0.035	2.857		
Resistenza superficiale esterna	-	-	0.069				
Esterno P.S.	M3	Resistenza superficiale interna	-	-	0.130	3.387	0.295
		Intonaco	0.015	0.700	0.021		
		Muratura in cls	0.450	1.610	0.280		
		Impermeabilizzazione in asfalto	0.001	0.700	0.001		
		Intonaco	0.020	0.700	0.029		
		Pannello EPS	0.100	0.035	2.857		
Resistenza superficiale esterna	-	-	0.069				
Interno	M4	Resistenza superficiale interna	-	-	0.130	3.395	0.295
		Intonaco	0.015	0.700	0.021		
		Pannello EPS	0.100	0.035	2.857		
		Muratura in laterizo	0.160	0.680	0.235		
		Intonaco	0.015	0.700	0.021		
		Resistenza superficiale esterna	-	-	0.130		
Controtterra	M5	Resistenza superficiale interna	-	-	0.130	3.344	0.299
		Intonaco	0.025	0.700	0.036		
		Pannello EPS	0.100	0.035	2.857		
		Muratura in cls	0.450	1.610	0.280		
		Impermeabilizzazione in asfalto	0.001	0.700	0.001		
		Resistenza superficiale esterna	-	-	0.040		
Cassonetto	M6	Resistenza superficiale interna	-	-	0.130	3.455	0.289
		legno di abete	0.021	0.120	0.176		
		Intercapedine d'aria	0.370	1.222	0.303		
		Muratura in laterizo	0.120	0.540	0.222		
		Pannello EPS	0.100	0.035	2.857		
		Resistenza superficiale esterna	-	-	0.069		
Esterno	Pilastro	Resistenza superficiale interna	-	-	0.130	4.827	0.207
		Cls	0.450	1.600	0.281		
		Pannello EPS	0.150	0.035	4.286		
		Resistenza superficiale esterna	-	-	0.130		

Le trasmittanze dei componenti opachi verticali risultano inferiori al limite di 0.30 W/m<sup>2</sup>K imposto dalla normativa. Anche la trasmittanza del cassonetto rispetta il limite massimo di 1.9 W/m<sup>2</sup>K.

ELEMENTI ORIZZONTALI OPACHI							
tipologia	codice elemento	materiali	spessore d [m]	conducibilità termica $\lambda$ [W/mK]	R= d/ $\lambda$ [m <sup>2</sup> K/W]	$\Sigma Ri$ [m <sup>2</sup> K/W]	U [W/m <sup>2</sup> K]
Solaio controterra	S1	Resistenza superficiale interna	-	-	0.170	3.411	0.293
		Piastrelle in ceramica	0.010	1.300	0.008		
		Pannelli in lana di roccia	0.120	0.039	3.077		
		sottofondo di cemento magro	0.065	0.700	0.093		
		soletta in cls	0.050	2.150	0.023		
		Resistenza superficiale esterna	-	-	0.040		
Solaio copertura	S3	Resistenza superficiale esterna	-	-	0.100	4.355	0.230
		Pannelli in lana di roccia	0.150	0.039	3.846		
		soletta in cls armato	0.050	2.150	0.023		
		solotta in laterizio	0.180	0.660	0.273		
		Intonaco	0.010	0.800	0.013		
		Resistenza superficiale interna	-	-	0.100		

Le trasmittanze dei componenti opachi orizzontali del pavimento controterra e della copertura risultano rispettivamente inferiori al limite di 0.31 W/m<sup>2</sup>K di 0.26 W/m<sup>2</sup>K imposti dalla normativa.

Per quanto riguarda i componenti trasparenti, gli interventi sono rivolti unicamente alla sostituzione degli infissi esistenti con altri più performanti, sia per quanto riguarda le caratteristiche del telaio che quelle dei vetri.

Interagendo con l'azienda Cocif, azienda produttrice di infissi, in base alle esigenze esposte, sono stati scelti serramenti con telaio a taglio termico in PVC e vetrocamera del tipo BE33.1/12ARG/4C/12ARG/BE33.1.

ELEMENTI VERTICALI TRASPARENTI			
tipologia	codice elemento	materiali	U [W/m <sup>2</sup> K]
serramenti esterni	W1	serramento in PVC	1.20
	W2	serramento in PVC	1.20
	W3	serramento in PVC	1.20
	W4	serramento in PVC	1.14
	W5	serramento in PVC	1.20
	W6	serramento in PVC	1.20

La trasmittanza totale degli infissi varia tra 1.14 e 1.2 W/m<sup>2</sup>K a seconda del tipo di serramento, inferiore al limite di 2.2 W/m<sup>2</sup>K imposto dalla normativa.

Successivamente, utilizzando i nuovi valori di trasmittanza, sono state ricalcolate le dispersioni termiche dell'involucro edilizio.

Calcolo di  $H_{T,e}$ 

PIANO SEMINTERRATO								
orient	chiusura	tipologia	codice	n° elem	U [W/m <sup>2</sup> K]	A [m <sup>2</sup> ]	e	H,Te,i [W/K]
N	opaco	parete	M3	1	0.295	12.33	1.2	4.36
	somma							4.36
S	opaco	parete	M3	1	0.295	5.12	1	1.51
	trasparente	finestra	W1	3	1.2	1.33	1	4.79
	somma							6.30
E	opaco	parete	M3	1	0.295	23.28	1.15	7.90
	trasparente	finestra	W1	5	1.2	1.33	1.15	9.18
			W2	1	1.2	1.7	1.15	2.35
	somma							19.42
O	opaco	parete	M3	1	0.295	17.31	1.1	5.62
	trasparente	finestra	W1	2	1.2	1.33	1.1	3.51
	somma							9.13
Parziale								39.21

PIANI FUORI TERRA								
orient	chiusura	tipologia	codice	n° elem	U [W/m <sup>2</sup> K]	A [m <sup>2</sup> ]	e	H,Te,i [W/K]
N	opaco	parete	M1	1	0.265	114.88	1.2	36.53
			M2	2	0.272	0.97	1.2	0.63
			M2	6	0.272	2.28	1.2	4.47
			M6	2	0.289	0.35	1.2	0.24
			M6	6	0.289	0.82	1.2	1.71
		pilastro	-	7	0.207	4.44	1.2	7.72
	trasparente	finestra	W5	6	1.2	1.9	1.2	16.42
			W6	6	1.2	4.47	1.2	38.62
somma							106.34	
S	opaco	parete	M1	1	0.265	144.24	1	38.22
			M2	27	0.272	1.16	1	8.52
			M6	27	0.289	0.42	1	3.28
			pilastro	-	10	0.207	3	1
	trasparente	finestra	W3	27	1.2	2.28	1	73.87
somma							130.10	
E	opaco	parete	M1	1	0.265	157.46	1.15	47.99
			M2	20	0.272	1.16	1.15	7.26
			M6	20	0.289	0.42	1.15	2.79
			pilastro	-	7	0.207	3	1.15
	trasparente	finestra	W3	20	1.2	2.28	1.15	62.93
			W4	1	1.14	3.24	1.15	4.25
somma							130.21	

O	opaco	parete	M1	1	0.265	130.39	1.1	38.01
			M2	9	0.272	1.16	1.1	3.12
			M6	9	1.674	0.42	1.1	6.96
	trasparente	finestra	-	3	0.207	3.89	1.1	2.66
			W3	9	1.2	2.28	1.1	27.09
somma								77.84
TETTO	opaco	solaio	S3	1	0.23	331.6	1	76.27
Parziale								520.75

$$H_{T,e} = 559.96 \text{ W/K}$$

#### Calcolo di $H_{T,tr}$

chiusura	tipologia	codice	n° elem	U [W/m <sup>2</sup> K]	A [m <sup>2</sup> ]	bu	H,Tnr [W/K]
opaca	parete	M4	1	0.295	21.03	0.6	3.72

#### Calcolo di $H_{T,i}$

chiusura	tipologia	codice	n° elem	U [W/m <sup>2</sup> K]	A [m <sup>2</sup> ]	fij	H,Ti [W/K]
opaca	parete	M4	1	0.295	118.05	0.14	4.97
opaca	parete	M4	1	0.295	123.24	0.14	5.19
opaca	parete	M4	1	0.3	221.34	0.14	9.49
opaca	parete	M4	1	0.289	221.34	0.14	9.14
Totale							28.79

#### Calcolo di $H_{T,t}$

chiusura	tipologia	codice	U [W/m <sup>2</sup> K]	P [m]	Ag [m <sup>2</sup> ]	B' [m]	Ueq [W/m <sup>2</sup> K]	fg1	fg2	Gw	H,Tt [W/K]
opaco	Solaio	S1	0.293	50	171.38	6.86	0.16	1.45	0.28	1.15	12.57
chiusura	tipologia	codice	U [W/m <sup>2</sup> K]	P [m]	Ap [m <sup>2</sup> ]	z [m]	Ueq [W/m <sup>2</sup> K]	fg1	fg2	Gw	H,Tt [W/K]
opaco	Parete	M5	0.299	50	82.50	1.65	0.2	1.45	0.28	1.15	7.57
Totale											20.14

#### Calcolo della potenza termica di trasmissione $\Phi_c$

H <sub>T,e</sub> [W/K]	H <sub>T,tr</sub> [W/K]	H <sub>T,i</sub> [W/K]	H <sub>T,t</sub> [W/K]	θ <sub>i</sub> [°C]	θ <sub>e</sub> [°C]	Φ <sub>c</sub> [kW]
559.96	3.72	28.79	20.14	20	-8	17.15

Le dispersioni termiche per ventilazione rimangono invariate dato che non sono previsti interventi sul sistema e tipologia di ventilazione del fabbricato.

$H_{v,e}$ [W/K]	$H_{v,L}$ [W/K]	$H_{v,i}$ [W/K]	$\theta_i$ [°C]	$\theta_e$ [°C]	$\Phi_a$ [KW]
2516.69	0	2516.69	20	-8	70.47

E' stata infine effettuata un'analisi dei costi attraverso il prezzario della Regione Piemonte. Per l'isolamento a cappotto sono stati considerati sia il costo del materiale che quello della relativa posa:

CAPPOTTO ESTERNO						
Materiale	A [mq]	Prezzo EPS [€/mq]	Costo materiale [€]	Prezzo posa [€/mq]	Costo posa [€]	Costo totale [€]
EPS	700	14.18	9926	43.62	30534	40460
Lana di roccia	462	12.03	5558	43.62	20152	25710
CAPPOTTO INTERNO						
Materiale	A [mq]	Prezzo EPS [€/mq]	Costo materiale [€]	Prezzo posa [€/mq]	Costo posa [€]	Costo totale [€]
EPS	290	14.18	4112	43.62	12650	16762
Lana di roccia	462	12.03	5558	43.62	20152	25710
					TOTALE	108643

Per i serramenti sono stati considerati anche gli infissi tralasciati inizialmente poiché, facendo parte di locali non riscaldati, erano ininfluenti per il calcolo delle dispersioni termiche, ma devono comunque essere sostituiti ai fini di una riqualificazione energetica ottimale.

INFISSI					
elemento	A [m <sup>2</sup> ]	prezzo [€/m <sup>2</sup> ]	costo [€/serramento]	n° elementi	costo finale [€]
W1	1.33	331.4	440.76	17	7492.95
W2	1.7	331.4	563.38	1	563.38
W3	2.28	331.4	755.59	56	42313.15
W4	3.24	331.4	1073.74	1	1073.74
W5	1.9	331.4	629.66	6	3777.96
W6	4.47	260	1162.20	6	6973.20
W7	1.27	331.4	420.88	6	2525.27
W8	8.31	260	2160.60	3	6481.80
W9	27.43	260	7131.80	1	7131.80
TOTALE					78333.25

### 3.1.2 interventi sugli impianti

A livello impiantistico, per migliorare l'efficienza energetica della scuola, gli interventi sono rivolti all'impianto di riscaldamento e all'impianto elettrico, in particolar modo al sistema di illuminazione.

- Impianto di riscaldamento

Tenendo presente i dati forniti dal Comune e quelli rilevati dal sopralluogo, per l'impianto di riscaldamento, in ottemperanza alle direttive del D.lgs 102/2014, si è deciso di mantenere il sistema di generazione, cioè la caldaia a condensazione, e di intervenire sui terminali di erogazione, radiatori in ghisa, installando su ognuno di essi valvole termostatiche, o termovalvole, con guscio antimanomissione ed antifurto, in modo da poter regolare la temperatura di ogni locale ottimizzando il risparmio energetico. Esse intervengono automaticamente tramite un regolatore di comando sull'apertura della valvola che mantiene costante il valore precedentemente impostato, garantendo in questo modo la costanza della temperatura dei locali nei quali vengono installate; il sistema di sicurezza, inoltre, impedisce al personale non addetto di manometterle.

Da un'indagine condotta analizzando i prezzi richiesti dagli idraulici nelle principali città italiane, emerge che il costo per installare una singola valvola termostatica in Italia può variare molto, oscillando fra i 70 e i 100 € ma il costo medio nazionale corrisponde a 78 € per ogni valvola.

Con il sopralluogo alla scuola sono stati identificati 56 radiatori, perciò la spesa per l'installazione delle valvole termostatiche sarebbe:

TERMOVALVOLE			
Elemento	n°	Prezzo [€/valv.]	Costo totale [€]
Termovalvole	56	78	4368

- impianto di illuminazione

Per l'impianto di illuminazione, costituita da luci al neon, il risparmio energetico può avvenire sostituendo gli attuali apparecchi illuminanti con luci a Led.

Nelle aule e nei laboratori, i neon da 90W verrebbero sostituiti da pannelli a Led da 40W di dimensione 60x60 cm, per un totale di 87 elementi. Invece, nei corridoi, spazi comuni e atrio, verrebbero installati Led da 16W al posto dei neon da 53 W e 58 W, per un totale di 77 elementi. A livello di consumi, ipotizzando il contemporaneo utilizzo di tutti gli apparecchi illuminanti, si passerebbe da 11991 W con le luci al neon a 4712 W con le luci a Led: il consumo si ridurrebbe del 39.3%.

Da indagini di mercato è emerso che il costo medio per questi tipi di sorgenti luminose è di 25 €, pertanto la spesa complessiva per la sostituzione delle sorgenti luminose è di 4100 €.

### **3.1.3 Utilizzo fonti rinnovabili**

Nel rispetto della direttiva europea 2009/29/CE, che alza al 20 % la quota di energia prodotta da fonti rinnovabili e del D.lgs 28/2011, si è previsto di sopperire al consumo di energia elettrica con l'installazione di un impianto fotovoltaico. Il dimensionamento dell'impianto è avvenuto tenendo in considerazione diversi fattori:

- fabbisogno annuo di energia elettrica pari a 18251 kWh: è il valore massimo registrato negli ultimi tre anni;
- riduzione del consumo di energia pari al 30%: anche se la percentuale di risparmio dovuto alla sostituzione degli apparecchi illuminanti è maggiore, bisogna tener conto che nella scuola vengono utilizzati sistemi la cui quota di consumo rimane invariata, come ad esempio l'ascensore e le lavagne elettroniche, pertanto il risparmio energetico complessivo è stato ponderato;
- utilizzo dell'edificio scolastico pari a 8 ore per 250 giorni all'anno: anche al termine dell'anno scolastico, l'edificio viene utilizzato dal personale docente per riunioni e dal personale non docente per le attività dei centri estivi.

E' stato quindi calcolata la potenza del sistema fotovoltaico in modo tale da coprire l'intero fabbisogno di energia elettrica:

$$(18251 \cdot (1 - 0.3)) / (8 \cdot 250) = 6.4 kW$$

Considerando che un pannello fotovoltaico può fornire una potenza di 250 W, sarà quindi necessario installare 26 pannelli che complessivamente potranno fornire una potenza di 6.5 kW. l'installazione dei pannelli avverrà nella parte centrale del tetto, dove la copertura è composta due falde con una lieve pendenza. Questo permette una migliore captazione della radiazione solare da parte dei pannelli senza dovergli conferire l'inclinazione attraverso strutture di supporto.

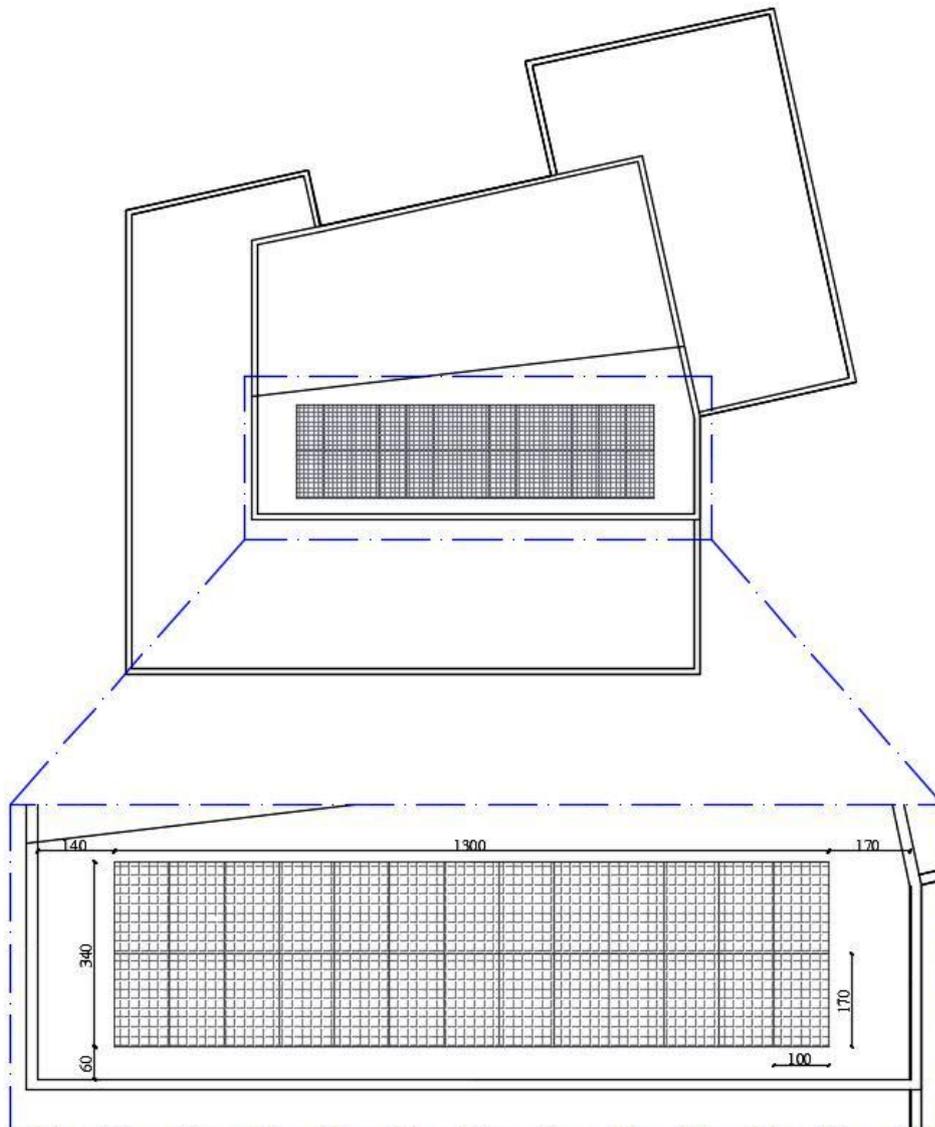


Fig. 3.2 – Disposizione pannelli sulla copertura

Il costo dell'impianto, compresa l'installazione, è di 1700 € al kW. I prezzi sono stati forniti dall'azienda "Super Solar" che ha fornito anche le caratteristiche dei pannelli la cui scheda tecnica si trova nell'allegato D

IMPIANTO FOTOVOLTAICO					
Materiale	Potenza pannello [W]	n° pannelli	Potenza totale [kW]	Prezzo [€/kW]	Costo totale [€]
Silicio policristallino	250	26	6.5	1700	11050

### 3.1.4 Analisi dei risultati

Gli interventi di riqualificazione energetica proposti, contribuiscono in maniera significativa a migliorare le prestazioni energetiche dell'edificio scolastico, riducendo le dispersioni termiche e le emissioni di gas serra. Per questi ultimi sono stati calcolati i chilogrammi di CO<sub>2</sub> prodotti solo dall'impianto di riscaldamento, dato che l'energia elettrica viene prodotta dai pannelli fotovoltaici, considerando la potenza necessaria per scaldare la scuola nel periodo invernale.

Potenza dispersioni [kW]	Tempo utilizzo caldaia (120 gg) [h]	Fabbisogno gas [kWh]	kgCO <sub>2</sub> /kWh di gas metano	kgCO <sub>2</sub>	Volume [m <sup>3</sup> ]	Emissioni CO <sub>2</sub> [kgCO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> anno]
87.65	960	84144	0.2019	16989	5752	2.95

Di seguito vengono illustrati i miglioramenti ottenuti, superiori a quelli richiesti dalla direttiva europea 2009/29/CE con il Piano 202020:

	Stato di fatto	Riqualificazione	Miglioramento %
Perdite per trasmissione	74.5 kW	17.15 kW	-77.0%
Perdite per ventilazione	70.5 kW	70.5 kW	0
Perdite totali	145 kW	87.65 kW	-39.6%
Utilizzo fonti rinnovabili	-	Fotovoltaico	>20%
Emissioni CO <sub>2</sub>	6.44 kgCO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> anno	2.95 kgCO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> anno	-54.2%

In ultima analisi vengono riassunti i costi degli interventi di riqualificazione energetica proposti.

Intervento di riqualificazione energetica	
tipologia	costo [€]
Sostituzione infissi	78333
Cappotto esterno	66170
Cappotto interno	42472
Illuminazione LED	4100
Impianto fotovoltaico	11050
Termovalvole	4368
TOTALE	206493

Con la legge di bilancio 2017 (legge n. 232 del 11 dicembre 2016) è stata prorogata fino al 31 dicembre 2017 la detrazione fiscale del 65% per gli interventi di miglioramento dell'efficienza energetica. Pertanto la spesa per gli interventi si ridurrebbe a poco meno di 72300 €.

## 3.2 Riqualificazione per la messa in sicurezza

### 3.2.1 Proposte di interventi strutturali

Nel caso in esame, per la scuola elementare M. Buonarroti, va sottolineata l'importanza dell'età ormai avanzata delle strutture in calcestruzzo armato. Anche se lo stato di fatto non denuncia un evidente livello di degrado, causato dall'esposizione ad agenti atmosferici e/o antropici, bisogna fare i conti con l'assenza di manutenzioni programmate (ora obbligatorie secondo il D.M. 14-01-2008, "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni") oppure con una superficiale progettazione o esecuzione dell'opera, dovute alle consuetudini del periodo di edificazione.

La scelta della tecnica di consolidamento da utilizzare deriva principalmente dalla categoria di intervento richiesta. Nella normativa tecnica di riferimento, le NTC08, al paragrafo 8.4 si individuano le seguenti categorie di intervento:

- *Interventi di adeguamento* atti a conseguire i livelli di sicurezza previsti dalle NTC08. Sono obbligatori nel caso in cui si intenda:
  - sopraelevare la costruzione;
  - ampliare la costruzione mediante opere strutturalmente connesse alla costruzione;
  - apportare variazioni di classe e/o di destinazione d'uso che comportino incrementi dei carichi globali in fondazione superiori al 10%;
  - effettuare interventi strutturali volti a trasformare la costruzione mediante un insieme sistematico di opere che portino ad un organismo edilizio diverso dal precedente.

In ogni caso, il progetto dovrà essere riferito all'intera costruzione, dovrà riportare le verifiche dell'intera struttura post-intervento ed essere sottoposto a collaudo statico.

- *Interventi di miglioramento* atti ad aumentare la sicurezza strutturale esistente, pur senza necessariamente raggiungere i livelli richiesti dalle NTC;  
Rientrano in questa categoria tutti gli interventi che siano comunque finalizzati ad accrescere la capacità di resistenza delle strutture esistenti alle azioni considerate. È possibile eseguire interventi di miglioramento nei casi in cui non ricorrano le condizioni specificate negli interventi di adeguamento. Anche in questo caso gli interventi devono essere sottoposti a collaudo statico
- *Riparazioni o interventi locali* che interessino elementi isolati, e che comunque comportino un miglioramento delle condizioni di sicurezza preesistenti.  
In generale riguardano singole parti e/o elementi della struttura che interessano porzioni limitate della costruzione. Il progetto e la valutazione della sicurezza potranno essere riferiti alle sole parti degli elementi interessati bisognerà documentare che, rispetto alla configurazione precedente al danno, al degrado o alla variante, non siano prodotte sostanziali modifiche al comportamento delle altre parti e della struttura nel suo insieme e che gli

interventi comportino un miglioramento delle condizioni di sicurezza preesistenti.

In relazione a queste disposizioni, per la scuola M. Buonarroti si possono prevedere interventi che riguardino il solo miglioramento sismico, cioè tutti gli interventi che siano comunque finalizzati ad accrescere la capacità di resistenza delle strutture esistenti alle azioni considerate. Il progetto e la valutazione della sicurezza dovranno essere estesi a tutte le parti della struttura potenzialmente interessate da modifiche di comportamento, nonché alla struttura nel suo insieme.

Con riferimento al paragrafo 8.7.2 delle NTC08, nelle costruzioni esistenti in cemento armato, soggette ad azioni sismiche, viene attivata la capacità di elementi e meccanismi resistenti, che possono essere “duttili” o “fragili”. I meccanismi duttili si verificano controllando che la domanda non superi la corrispondente capacità in termini di deformazione. Possono essere attivati in maniera diffusa su tutta la costruzione, oppure in maniera non uniforme, ad esempio localizzandosi in alcune parti critiche o su un unico piano. La plasticizzazione di un elemento o l’attivazione di un meccanismo duttile in genere non comportano il collasso della struttura.

I meccanismi fragili si verificano controllando che la domanda non superi la corrispondente capacità in termini di resistenza. Possono localizzarsi in qualsiasi punto e possono determinare il collasso dell’intera struttura.

L’analisi sismica globale deve utilizzare, per quanto possibile, metodi di analisi che consentano di valutare in maniera appropriata sia la resistenza che la duttilità disponibile. L’impiego di metodi di calcolo lineari richiede da parte del progettista un’opportuna definizione del fattore di struttura in relazione alle caratteristiche meccaniche globali e locali della struttura in esame.

Per il calcolo della capacità di elementi/meccanismi duttili o fragili bisognerà conseguire un’adeguata conoscenza delle caratteristiche dei materiali e del loro degrado, basandosi su documentazione già disponibile, su verifiche visive in situ e su

indagini sperimentali. Le indagini dovranno essere motivate, per tipo e quantità, dal loro effettivo uso nelle verifiche. I valori delle resistenze meccaniche dei materiali vengono valutati sulla base delle prove effettuate sulla struttura e prescindono dalle classi discretizzate previste nelle norme per le nuove costruzioni.

Sulla base degli approfondimenti effettuati nelle fasi conoscitive durante l'analisi dello stato di fatto del fabbricato, come prevedono le NTC08 al paragrafo 8.5.4, saranno individuati i "livelli di conoscenza" dei diversi parametri coinvolti nel modello (geometria, dettagli costruttivi e materiali), e definiti i correlati fattori di confidenza, da utilizzare come ulteriori coefficienti parziali di sicurezza che tengono conto delle carenze nella conoscenza dei parametri del modello.

Rilievo geometrico	Rilievo materico e dei dettagli costruttivi	Proprietà meccaniche dei materiali	Terreno e fondazioni
rilievo geometrico completo  $F_{C1} = 0.05$	limitato rilievo materico e degli elementi costruttivi  $F_{C2} = 0.12$	parametri meccanici desunti da dati già disponibili  $F_{C3} = 0.12$	limitate indagini sul terreno e le fondazioni, in assenza di dati geologici e disponibilità d'informazioni sulle fondazioni  $F_{C4} = 0.06$
rilievo geometrico completo, con restituzione grafica dei quadri fessurativi e deformativi  $F_{C1} = 0$	esteso rilievo materico e degli elementi costruttivi  $F_{C2} = 0.06$	limitate indagini sui parametri meccanici dei materiali  $F_{C3} = 0.06$	disponibilità di dati geologici e sulle strutture fondazionali; limitate indagini sul terreno e le fondazioni  $F_{C4} = 0.03$
	esaustivo rilievo materico e degli elementi costruttivi  $F_{C2} = 0$	estese indagini sui parametri meccanici dei materiali  $F_{C3} = 0$	estese o esaustive indagini sul terreno e le fondazioni  $F_{C4} = 0$

Interagendo con gli Enti Locali e con il sopralluogo alla scuola, sono stati raccolti dati riguardanti le caratteristiche strutturali del fabbricato, sulla base dei quali, in prima analisi, il miglioramento sismico può avvenire effettuando uno o più di questi interventi:

- aumento delle sezioni strutturali attraverso camicie in c.a.;
- aumento delle resistenze con camicie o collari in acciaio;

- miglioramento delle prestazioni con materiale polimerico fibrorinforzato, FRP;
- dissipazione delle azioni sismiche con pareti a taglio in c.a.;
- assorbimento delle azioni sismiche con controventi dissipativi;

### 3.2.1.1 Camicie in c.a.

La realizzazione di incamiciature in c.a. può essere realizzata secondo varie configurazioni. Per i pilastri, anche se sono reperibili in letteratura interventi di ringrosso parziale, ad esempio su due o tre lati, l'intervento è reso efficace dall'incremento dimensionale su tutti i lati della colonna. Esso consiste nel realizzare intorno all'elemento esistente, reso privo del copri ferro, uno strato in c.a. inserendo armature longitudinali e trasversali.

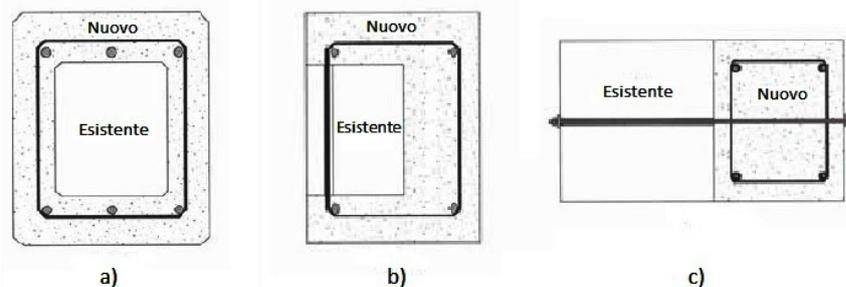


Fig. 3.3 – Aumento sezione su quattro lati (a), tre lati (b) e un lato (c)

Questo tipo di intervento è utile sia per aumentare la resistenza a taglio che quella a flessione, anche se la calibrazione tra i due effetti risulta difficile soprattutto in presenza di elevata armatura longitudinale esistente o grandi spessore di calcestruzzo aggiunto. Inoltre, mantenendo adeguati rapporti tra armature trasversali e longitudinali, è possibile ottenere anche incrementi di duttilità. La valutazione dell'incremento di resistenza può anche essere effettuata secondo le indicazioni semplificative della Circ. 617/2009. In particolare, è possibile considerare tutta la sezione con la stessa resistenza a compressione del materiale "nuovo", ma in questo caso i valori resistenti di taglio e flessione dovranno essere ridotti del 10%.

Rispetto ad altri interventi locali, è da tenere particolarmente d’occhio la posizione dei baricentri di rigidezze e masse. Applicato ai soli pilastri, il metodo consente di eliminare il comportamento “travi forti – colonne deboli”. L’intervento può essere realizzato solo per l’incremento della resistenza a taglio se le armature longitudinali, disposte come sole regge staffe, non vengono ancorate agli elementi esterni al pilastro. Estendendo l’allargamento al nodo travi-pilastro, è possibile, mediante l’inserimento di armature trasversali, effettuare anche il rinforzo del nodo, utilizzando le formulazioni valide per le nuove costruzioni. L’armatura inserita sarà tale da realizzare un efficace confinamento. L’intervento così realizzato, consente di creare il funzionamento indicato dal principio di gerarchia delle resistenze. Questo tipo di soluzione può essere utilizzato anche sulle travi. In particolare per creare delle nervature di travi “a spessore” (Figura 3.3-a e 3.3-b). L’intervento (Figura 3.3-c) è utile per incrementare sia la resistenza ai momenti positivi che negativi, il tipo (Figura 3.3-d) è indicato per i momenti positivi. A questo proposito si evidenzia che le strutture esistenti sono spesso carenti di armature all’intradosso all’incastro, in quanto solo con l’azione sismica delle recenti normative può avvenire un inversione dei momenti significativa.

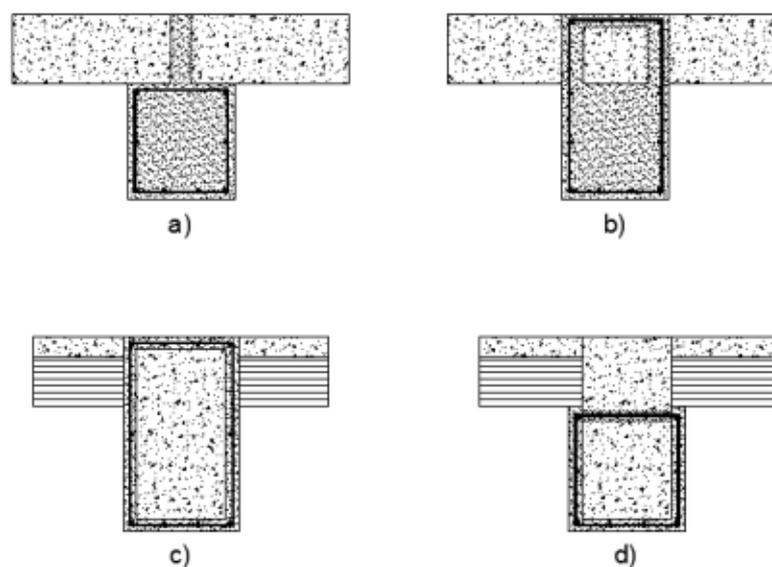


Fig. 3.4 – Ingrandimento sezione trave

### 3.2.1.2 Camicie o collari in acciaio

Per quanto riguarda l'incamiciatura in acciaio, essa presenta caratteristiche esecutive simili a quella in c.a. Consiste nel disporre degli angolari mediante malta strutturale o resina epossidica per poi saldare i calastrelli realizzati con piatti in direzione trasversale agli angolari. L'effetto del confinamento viene incrementato preriscaldando i calastrelli, che raffreddandosi inducono uno stato di pretensione trasversale. L'intervento è efficace per l'incremento della capacità portante verticale (effetto di confinamento) e la resistenza a taglio.

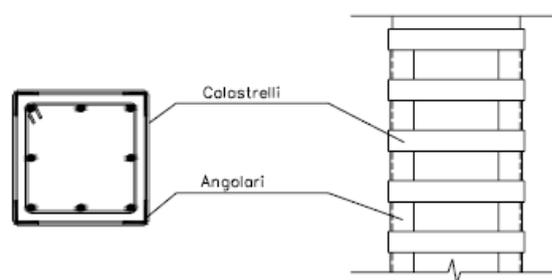


Fig. 3.5 – Camicie in acciaio per pilastri

Per quanto riguarda la resistenza a flessione, essa è subordinata al grado di connessione degli angolari con gli elementi esterni. La Circ. 617/2009 non contempla questo tipo di effetto in quanto il dettaglio costruttivo dell'ancoraggio potrebbe essere non realizzato correttamente. Inoltre il contributo come "armatura equivalente" degli angolari non è di facile modellazione, in quanto i fenomeni di scorrimento relativo con le sezioni in c.a. esistenti dipendono dall'interfaccia resina-calcestruzzo. L'intervento, nell'ambito delle travi, potrebbe essere usato solo per il rinforzo a taglio (Figura 3.5), utilizzando metodi di ancoraggio che consentono di utilizzarlo come elemento sotto-solaio.

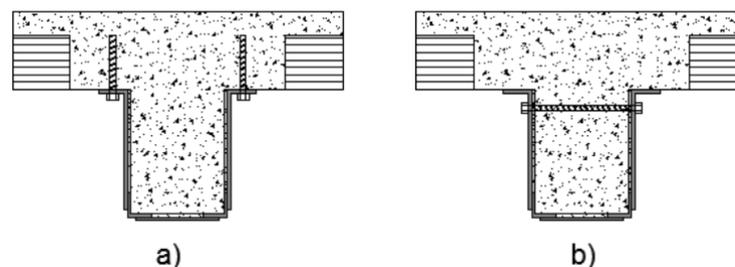


Fig. 3.6 – Rinforzo a taglio per le travi

Alcuni dei limiti di questo tipo di intervento possono essere superati da un suo diretto discendente, che ne rappresenta un'evoluzione: il sistema CAM. Tale metodologia acronimo di "cucitura attiva dei manufatti" nacque inizialmente per le strutture in muratura, per poi essere esteso alle strutture intelaiate in c.a. alle quali conferisce elevate caratteristiche di duttilità. L'intervento con il sistema CAM viene realizzato posizionando ai vertici della sezione elementi presso-piegati ad "L", ad ali uguali, in acciaio. I presso-piegati hanno la particolarità di presentare la superficie interna di contatto con il CLS irruvidita, mentre la superficie esterna è estremamente liscia per favorire il pretensionamento uniforme dei nastri posizionati successivamente. I nastri in acciaio ad alta resistenza,  $f_{yk}$  pari a circa 850 MPa, sono pretensionati in modo da indurre uno stato di confinamento all'elemento stesso e possono essere sia a strati singoli o sovrapposti.

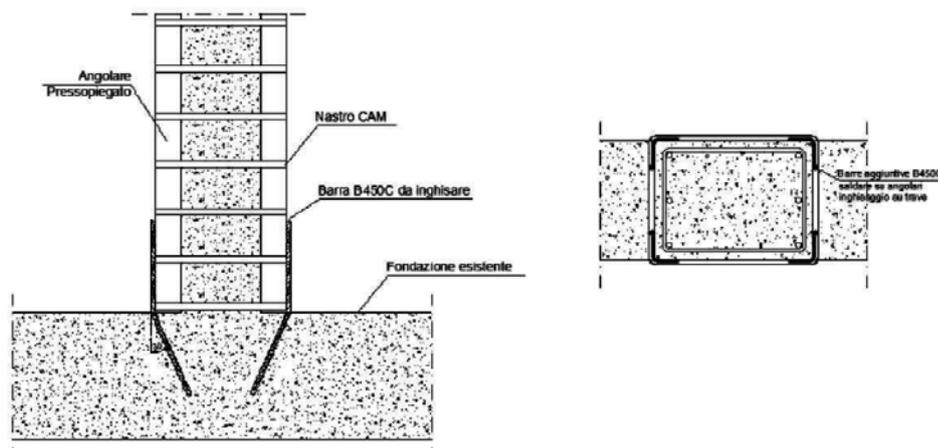


Fig. 3.7 – Ancoraggio sistema CAM

Come già anticipato, l'intervento consente, mediante appositi dettagli costruttivi, la selettività dei fenomeni da migliorare. Ad esempio, per la flessione è possibile, oltre che considerare il confinamento, anche far contribuire gli angolari nel raggiungimento delle condizioni ultime della sezione. Ciò può essere realizzato prevedendo il collegamento verticale tra angolari corrispondenti tra più livelli saldando tra essi barre di armature B450C.

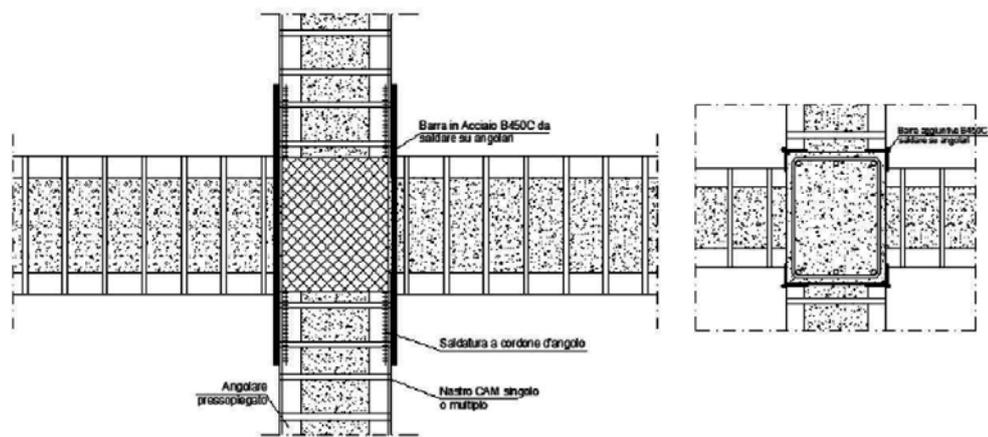


Fig. 3.8 – Collegamento di due sistemi CAM con barre B450C

L'intervento CAM per il rinforzo a taglio invece, consiste nell'applicazione di "cerchiaggi" effettuati con i nastri pre-tesi, aventi la funzione di staffatura aggiuntiva. Il passo e il numero dei nastri vengono dimensionati per raggiungere il valore di taglio resistente di progetto. Il rinforzo a taglio così realizzato, può avvenire per l'intera lunghezza dell'elemento oppure nelle zone critiche dell'elemento stesso. In particolare per le travi sono disponibili due tipi di configurazioni: ad intera altezza o sotto-solaio:

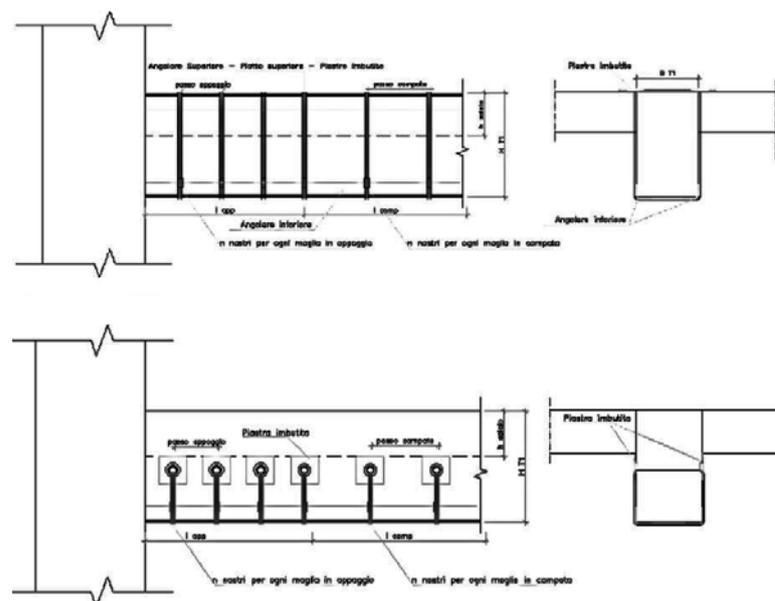


Fig. 3.9 – Rinforzo a taglio ad altezza intera (sopra) e sotto-solaio (sotto)

Il sistema CAM è particolarmente interessante per il consolidamento dei nodi travi-pilastro, essendo anche la parte più delicata dal punto di vista sia strutturale che di realizzazione. Il metodo consiste nell'inserimento di un piatto metallico (saldato agli angolari disposti come rinforzo su travi e pilastri), oltre che alla presenza di avvolgimenti dei nastri ad alta resistenza.

### **3.2.1.3 FRP**

Il termine FRP è l'acronimo di Fiber Reinforced Polymer, ossia di "materiale polimerico fibrorinforzato". Gli FRP, appartengono alla vasta famiglia dei "compositi strutturali" e sono materiali costituiti da fibre di rinforzo immerse in una matrice polimerica. Nei compositi fibrorinforzati le fibre svolgono il ruolo di elementi portanti sia in termini di resistenza che di rigidità, mentre la matrice, oltre a proteggere le fibre, funge da elemento di trasferimento degli sforzi tra le fibre e tra queste ultime e l'elemento strutturale a cui il composito è stato applicato. Le fibre possono essere disposte in tutte le direzioni, secondo i dati di progetto, in maniera tale da ottimizzare le proprietà meccaniche del composito nelle direzioni desiderate. La caratteristica peculiare dei compositi strutturali è quella di fornire prestazioni meccaniche migliori o, perlomeno, più "complete" di quelle che sarebbero fornite dalle singole fasi componenti. Nei compositi a matrice polimerica, la matrice è generalmente a base di resine epossidiche; per miscelazione con un opportuno reagente esse polimerizzano (reticolano) fino a diventare un materiale solido vetroso. I rinforzi sono costituiti da:

- Fibre di carbonio: si distinguono in fibre ad alta resistenza ed elevato modulo elastico ed in fibre ad alta resistenza ed elevatissimo modulo elastico.
- Fibre di vetro: sono del tipo vetro-E e del tipo vetro-A.R. resistenti agli alcali.
- Fibre di basalto: hanno proprietà intermedie alle fibre di carbonio e vetro, in quanto posseggono caratteristiche meccaniche comparabili in termini di resistenza meccanica alle fibre di carbonio e modulo di elasticità simile alle fibre di vetro.
- Fibre metalliche: fibre di acciaio ad altissima resistenza meccanica.

L'utilizzo degli FRP nell'industria delle costruzioni riguarda essenzialmente il settore del restauro delle strutture degradate o danneggiate e quello dell'adeguamento statico e sismico delle stesse. In quest'ottica, un intervento di ripristino basato sull'utilizzo di compositi ad alte prestazioni, anche se molto costoso in termini di materiale, può risultare più economico di quelli tradizionali se si estende la valutazione economica relativa ai tempi e alle attrezzature necessarie per l'intervento, ai costi derivanti da eventuali interruzioni dell'esercizio della struttura e alla stima della vita utile della struttura stessa a seguito dell'intervento. I materiali FRP, infatti, grazie all'estrema leggerezza, vengono messi in opera senza l'ausilio di particolari attrezzature e macchinari da un numero limitato di operatori, in tempi estremamente brevi e, spesso, senza che risulti necessario interrompere l'esercizio della struttura.

I materiali fibrorinforzati a matrice polimerica sono materiali compositi, eterogenei ed anisotropi, che mostrano un comportamento elastico lineare fino al collasso. I compositi strutturali vengono utilizzati nel rinforzo delle costruzioni sottoforma di tessuti distinti in:

- uniassiali, con le fibre tutte orientate nella direzione della lunghezza e tenute insieme da una trama leggera di tipo non strutturale;
- biassiali, costituiti da una tessitura trama-ordito ortogonale di solito bilanciata (stessa percentuale di fibre nelle due direzioni);
- quadriassiali, con fibre orientate in diverse direzioni del piano.

L'applicazione di queste fibre viene effettuata mediante una matrice (resina epossidica), la quale consente la perfetta adesione con il supporto sottostante in calcestruzzo. In effetti, la resistenza finale del "pacchetto" fibra-matrice-supporto è spesso penalizzata dal distacco del calcestruzzo secondo il fenomeno della delaminazione.

Il rinforzo a taglio viene realizzato mediante l'applicazione di fasce ortogonali all'asse dell'elemento (trave o pilastro) e può essere utilizzato per ripristinare i criteri della gerarchia delle resistenze. Il rinforzo nel suo complesso deve essere valutato considerando i contributi del calcestruzzo e dell'eventuale armatura trasversale

metallica presente. Per le travi, anche per gli FRP sono possibili configurazioni sotto-solaio (Figura 3.9-a) o in avvolgimento (Figura 3.9-b).

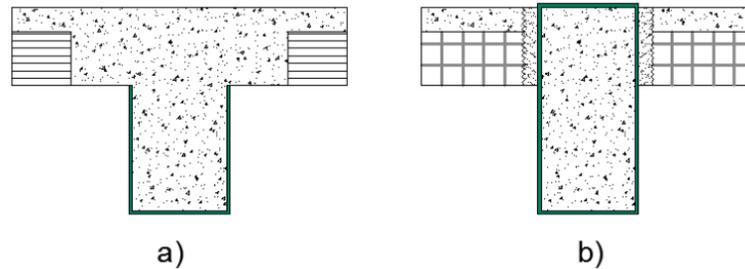


Fig. 3.10 – Rinforzo parziale e totale delle travi con FRP

Il rinforzo a flessione viene realizzato applicando nelle zone da rinforzare una o più lamine preformate, oppure in alternativa, uno o più strati di tessuto impregnati in situ. Il rinforzo a flessione è da utilizzare per elementi strutturali soggetti ad un momento flettente di progetto maggiore della corrispondente resistenza. Nel caso di elementi duttili, l'aumento della resistenza a flessione potrebbe creare un meccanismo di tipo fragile, pertanto è spesso necessario accoppiare anche il rinforzo a taglio. L'aumento della resistenza a flessione è indicato nel caso in cui siamo in presenza di elementi con debole armatura, in quanto la presenza di elevate quantità di armatura esistente rende inefficace il contributo dell'FRP. Nel caso delle travi, il consolidamento può essere utilizzato anche per superare deficit di resistenza ai carichi gravitazionali. In questo caso, essendo il rinforzo di FRP applicato su una struttura già sollecitata, si deve tenere conto dello stato di deformazione della struttura all'atto dell'applicazione.

Il rinforzo a flessione dei solai in latero-cemento può essere realizzato, mediante materiali compositi, disponendo tessuti unidirezionali o lamine in fibra di carbonio all'intradosso dei travetti del solaio.

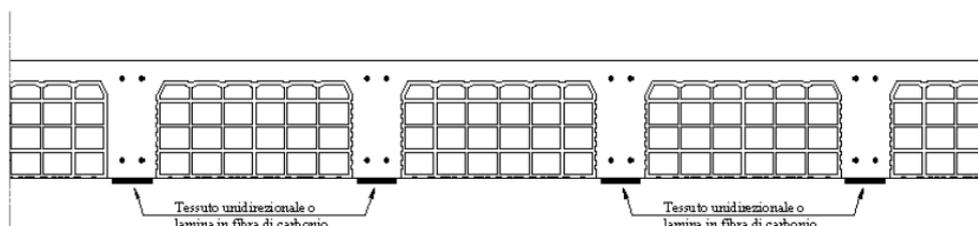


Fig. 3.11 – Rinforzo con FRP dei travetti del solaio

Per i nodi travi-pilastro l'intervento con FRP risulta, rispetto ad altre soluzioni, di facile realizzazione in quanto l'applicazione oltre ad essere esterna all'elemento strutturale, si adatta alle diverse forme geometriche del nodo. Come ogni rinforzo con fibre è importante creare un supporto il più omogeneo e resistente possibile.

Gli interventi sui nodi possono essere dimensionati anche per "assorbire" le spinte delle tamponature. In questo caso, sfruttando le caratteristiche di direzionalità delle fibre è necessario disporre ordini di fibre diagonali che, abbracciando i pilastri superiore ed inferiore, avvolgono il nodo contrastando le forze scambiate con il pannello murario.

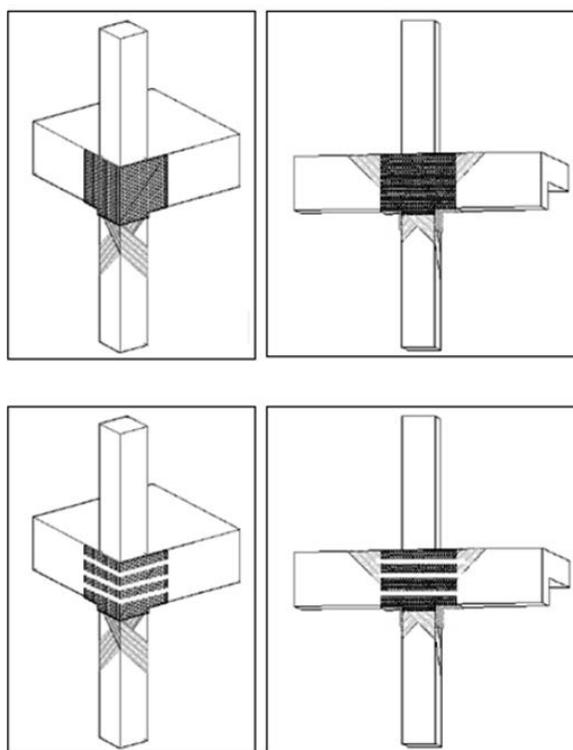


Fig. 3.12 – Applicazione sistema FRP su diversi nodi

Il sistema di rinforzo con FRP può essere applicato, a seconda delle esigenze e delle caratteristiche della struttura esistente, in tre diversi modi che apportano differenti miglioramenti locali e globali:

- fasciatura parziale: localmente fornisce un sensibile incremento di duttilità, ma limitati effetti su resistenza o rigidezza. A livello globale incrementa la capacità deformativa;

- rinforzi dei nodi: permettono una prevenzione locale della rottura a taglio dei nodi. Vi è una riduzione marginale dello spostamento globale, riducendo la deformabilità dei nodi trave-pilastro;
- fasciatura completa: localmente fornisce un notevole incremento di duttilità e resistenza a taglio e modesto incremento di rigidezza. Gli effetti globali sono evidenti in termini di distribuzione delle resistenze, mentre rimane invariata la distribuzione delle rigidezze.

#### **3.2.1.4 Pareti in c.a.**

Un approccio, appartenente alla categoria degli interventi globali, consiste nell'aggiunta di elementi strutturali di nuova realizzazione con lo scopo di far assorbire a quest'ultimi la maggior parte dell'azione sismica e di irrigidire la struttura intervenendo sui modi di vibrazione dell'edificio. Comunemente questo tipo di nuovi elementi strutturali sono pareti dissipative in c.a. e risultano molto efficaci nel caso serva un notevole apporto di resistenza.

In ogni caso, essendo interventi che modificano il comportamento globale, sono utilizzati anche per correggere irregolarità di comportamento, regolarizzazione dei modi di vibrare della struttura ed a ridurre le eccentricità tra baricentro delle masse e delle rigidezze.

Questo tipo di soluzione ha comunque "l'effetto collaterale" di caricare maggiormente le fondazioni, in particolare nelle zone adiacenti agli elementi aggiunti. Infatti, se è sicuramente vero che gli elementi esistenti risultano "sgravati" dalle sollecitazioni indotte dal sisma, è anche vero che ciò che viene assorbito dai nuovi elementi deve comunque essere trasferito al suolo. Quindi, in modo particolare per l'intervento con pareti dissipative, sarà spesso necessario provvedere al rinforzo delle strutture di fondazione.

#### **3.2.1.5 Controventi in acciaio dissipativi**

Tra i vari schemi applicativi, quello che viene utilizzato più spesso nella protezione sismica degli edifici è l'inserimento di controventi dissipativi che permettono di ottenere una riduzione della risposta in termini di forze e di spostamenti. A differenza

di quanto avviene adottando criteri di progettazione tradizionali (progettazione in capacità), basati sull'implicita accettazione dello sviluppo di deformazioni anelastiche nella struttura, con questo sistema l'energia sismica in eccesso, rispetto a quella che la struttura è in grado di sopportare, viene assorbita da elementi più rigidi della struttura stessa, i controventi, e da questi si indirizza su dispositivi ausiliari di dissipazione energetica. Tali dispositivi, sfruttando le proprietà dissipative del loro legame costitutivo, contribuiscono a ridurre, o addirittura eliminare, l'effetto delle azioni orizzontali sulla struttura portante.

Questa soluzione si fonda sull'introduzione all'interno della maglia strutturale di un sistema supplementare, che utilizza speciali dispositivi incorporati o collegati a controventi rigidi, quasi sempre di acciaio, che connettono due piani della struttura, solitamente consecutivi. Lo spostamento interpiano prodotto dal sisma attiva i meccanismi di dissipazione di energia prima che gli spostamenti relativi possano produrre danni significativi sugli elementi strutturali. In tal modo la maggior parte dell'energia in entrata viene immagazzinata e dissipata nei dispositivi, mentre la funzione di sostegno dei carichi verticali rimane attribuita alla struttura convenzionale.

Controventi tradizionali:

- fanno aumentare la rigidezza;
- spesso modificano il comportamento strutturale;
- spesso riducono lo smorzamento equivalente.

Controventi dissipativi:

- consentono, se opportunamente dimensionati, il mantenimento della risposta strutturale originale, ad esempio tipo "shear type";
- si considera che il contributo della componente strutturale rimanga inalterato anche dopo l'inserimento dei controventi.

Facendo riferimento alle forme tipiche degli spettri di risposta elastici delle accelerazioni e degli spostamenti, il comportamento di una struttura dotata di

dispositivi dissipativi, assimilata ad oscillatore elementare, può essere interpretato osservando che l'introduzione del sistema di dissipazione produce un aumento dello smorzamento e, se il sistema determina un irrigidimento della struttura, una riduzione del periodo, oltre che, per molti sistemi di uso corrente, un aumento della resistenza complessiva. Ciò determina una sensibile riduzione degli spostamenti complessivi e, quindi, degli spostamenti interpiano, con conseguente riduzione dei danni agli elementi strutturali e non strutturali.

Ai controventi dissipativi è stata perciò affidata la doppia funzione, di comportarsi come normali controventi, cioè aumentare la rigidità del complesso e correggere le eccentricità strutturali presenti, fino al raggiungimento della forza di snervamento del dissipatore, e di assorbire una significativa porzione dell'energia trasmessa dal sisma indirizzandola in zone opportunamente concepite, facendo in modo che la struttura esistente non attinga alle proprie risorse di duttilità e limitando le sue escursioni in campo plastico.

Tra i dissipatori più utilizzati e più efficaci, nei sistemi di controventamento, vi sono quelli a comportamento elasto-plastico: sono i dissipatori isteretici assiali ad instabilità impedita (Buckling-Restrained Axial Dampers – BRAD), che, lavorando in regime di sforzo assiale, dissipano energia in trazione-compressione. Questi dispositivi sono costituiti da un nucleo interno in acciaio, una parte del quale è progettato per dissipare energia in campo plastico, da un tubo in acciaio e da un riempimento in calcestruzzo, i quali evitano che il nucleo interno divenga instabile. Tra il calcestruzzo ed il nucleo interno è interposto uno strato di speciale materiale distaccante, allo scopo di impedire la trasmissione di tensioni tangenziali tra i due componenti e permettere al nucleo interno di allungarsi o accorciarsi liberamente, dissipando energia. I dissipatori sono installati in serie al tubo che costituisce l'asta di controvento.

### **3.2.1.6 Valutazioni delle opere per il miglioramento sismico**

La scelta del tipo di intervento da applicare richiede, prima di tutto, un'ottima conoscenza della struttura su cui si deve intervenire e, in secondo luogo, un'analisi

strutturale per definire le capacità prestazionali. A queste analisi, che possono essere di natura statica-lineare, dinamica-lineare (analisi modale) o statica-non lineare (analisi pushover), bisogna affiancare le esigenze della committenza, che molto spesso sono di natura economica.

Per l'edificio scolastico in esame non è ancora possibile determinare un tipo di sistema antisismico applicabile, poiché bisogna ancora effettuare delle indagini conoscitive in merito alle caratteristiche dei materiali, come le proprietà meccaniche del cemento e dell'acciaio utilizzati e la quantità e tipologia dei ferri d'armatura. E' strettamente necessaria, inoltre, la valutazione delle resistenze dei diversi elementi portanti per capire se la gerarchia delle resistenze è tutt'ora rispettata o meno.

Dopo aver concluso l'analisi strutturale e determinata la vulnerabilità del sistema strutturale esistente, si definisce il tipo di intervento da effettuare, in termini di rapporto costi/benefici e si esegue nuovamente un'analisi per verificare il sufficiente miglioramento sismico apportato.

Riassumendo, gli interventi di riqualificazione strutturale, con le relative caratteristiche, per il miglioramento sismico della scuola elementare M. Buonarroti possono essere uno o alcuni dei seguenti:

Tecnica	Effetti locali	Effetti globali	Costo relativo	Disturbo	Commenti
<b>Camicie in c.a.</b>	Incremento rigidità e resistenza ed eventualmente duttilità	Modifica della risposta sismica. Se applicate ai pilastri, sposta la richiesta plastica verso le travi	Basso, per elemento	Da medio a alto	Può porre rimedio alla risposta di "piano soffice". Se interessa pochi piani, può spostare tale meccanismo ai piani superiori
<b>Camicie o collari in acciaio</b>	Incremento duttilità e resistenza a taglio. Garantendo una forte azione composita, incremento di rigidità	Incremento capacità deformativa globale	Medio	Basso	Efficace ove il principale problema sia scarsa armatura trasversale. Veloce installazione.
<b>Fasciatura parziale con FRP</b>	Sensibile incremento di duttilità. Limitati effetti su resistenza o rigidità	Incremento capacità deformativa globale	Alto	Basso	Soluzione adeguata quando il costo non è un criterio predominante

<b>Rinforzo dei nodi con FRP</b>	Eliminazione rottura a taglio dei nodi	Riduce marginalmente il drift globale riducendo la deformabilità dei nodi trave-pilastro	Alto	Basso	Come sopra
<b>Fasciatura completa in FRP</b>	Notevole incremento di duttilità e resistenza a taglio; piccolo incremento di rigidezza	Distribuzione delle rigidezze invariata. Sensibili effetti in termini di distribuzione delle resistenze	Alto	Basso	Come sopra
<b>Pareti in c.a.</b>	Potrebbe portare ad un incremento di sollecitazioni nelle immediate vicinanze	Riduzione drastica della domanda di deformazione in tutti gli altri elementi. Risolve i problemi di "piano soffice"	Medio	Alto	E' l'approccio più adeguato se il "disturbo" arrecato non è un problema. E' necessario un drastico intervento in fondazione.
<b>Controventi in acciaio</b>	Protezione nei confronti del collasso di elementi fragili in c.a. posti nelle vicinanze. Può indurre notevoli sollecitazioni nei nodi.	Incremento di duttilità globale a capacità dissipativa. Può risolvere i problemi di "piano soffice"	Da medio a alto	Da basso a medio	Occorre porre attenzione nel progetto di aste e connessioni al fine di proteggersi da fenomeni di instabilità locale e rotture post buckling.

### 3.2.2 Interventi sugli elementi non strutturali

Sulla base delle criticità riscontrate durante il sopralluogo si ritengono necessari interventi che riguardano sia elementi interni che esterni alla scuola.

Per eliminare il problema delle muffe in corrispondenza dell'ascensore, si prevede la sostituzione dei pannelli di tamponamento della struttura esterna del vano corsa con pannelli coibentati, in modo tale da dare continuità al rivestimento esterno a cappotto (previsto al paragrafo 3.1.1) e, soprattutto, eliminare fenomeni di degrado che possono ledere la salubrità degli ambienti.

Il problema dovuto alle infiltrazioni d'acqua sul lato est dell'edificio, all'intersezione tra la grondaia interna ed esterna alla muratura, può essere risolto andando a controllare

eventuali perdite nel punto di allaccio tra i due pluviali, verificare la presenza di guaine di giunzione, e, se necessario, sostituire il componente di raccordo.

All'interno del fabbricato, la messa in sicurezza prevede la sostituzione delle porte esistenti con nuovi elementi in PVC totalmente opachi.

La ringhiera delle scale sarà anch'essa sostituita con una parapetto formato da una lamiera metallica forata;

Nell'area esterna, invece, si prevedono due interventi più ampi: il primo riguarda il rifacimento delle rampe di accesso sul lato est con una struttura avente la superficie delle rampe antiscivolo attraverso una finitura del tipo rigata a "liscia di pesce". Il secondo intervento riguarda la sistemazione dell'area esterna andando ad eliminare le radici delle piante che affiorano, livellando le zone in cui sono presenti avallamenti e ripristinando le parti destinate a verde giardino, ormai non più tali a causa di scarsa manutenzione.

### **3.2.3 Adeguamenti per la sicurezza e prevenzione incendi**

I primi interventi necessari per la messa in sicurezza della scuola riguarda i lavori da effettuare nella zona dell'ingresso principale. E' stato previsto l'ampliamento del solaio rialzato esterno antistante l'ingresso, con relative modifiche alle scale e rampe di collegamento, e l'inserimento di un'ulteriore porta di accesso, che per mantenere un'uniformità architettonica, avrà le stesse dimensioni di quelle già esistenti, ovvero larghezza pari 1.20 m. Al vano d'ingresso verrà destinata anche la funzione di filtro antifumo per la scala interna adiacente, rispettando le disposizioni normative: viene prolungato il muro alla sinistra della scala e creato un varco dove sarà inserita una porta tagliafuoco avente larghezza pari a 1.80 m con caratteristiche REI 60 con perno a molla per l'autochiusura e sistema fermaporta elettromagnetico. In questo modo la scala risulta compartimentata e resa sicura come per gli altri piani. Affinché il filtro possa ritenersi a prova di fumo, secondo le prescrizioni del D.M. 30 novembre 1983, sarà realizzata una canna di ventilazione esterna al fabbricato, in modo tale da non dover effettuare interventi di foratura sui solai esistenti, con sezione pari a 0.2x0.5 m. La compartimentazione del filtro con l'atrio è garantita, oltre che dalla porta

antincendio esistente, anche da una nuova porta, realizzata con le medesime caratteristiche dimensionali della prima. Quest'ultima deve essere sostituita, perché non è presente il sistema auto chiudente; per entrambe saranno installate porte da 1.20 m di larghezza aventi caratteristiche REI 60 con perno a molla per l'autochiusura e sistema fermaporta elettromagnetico.

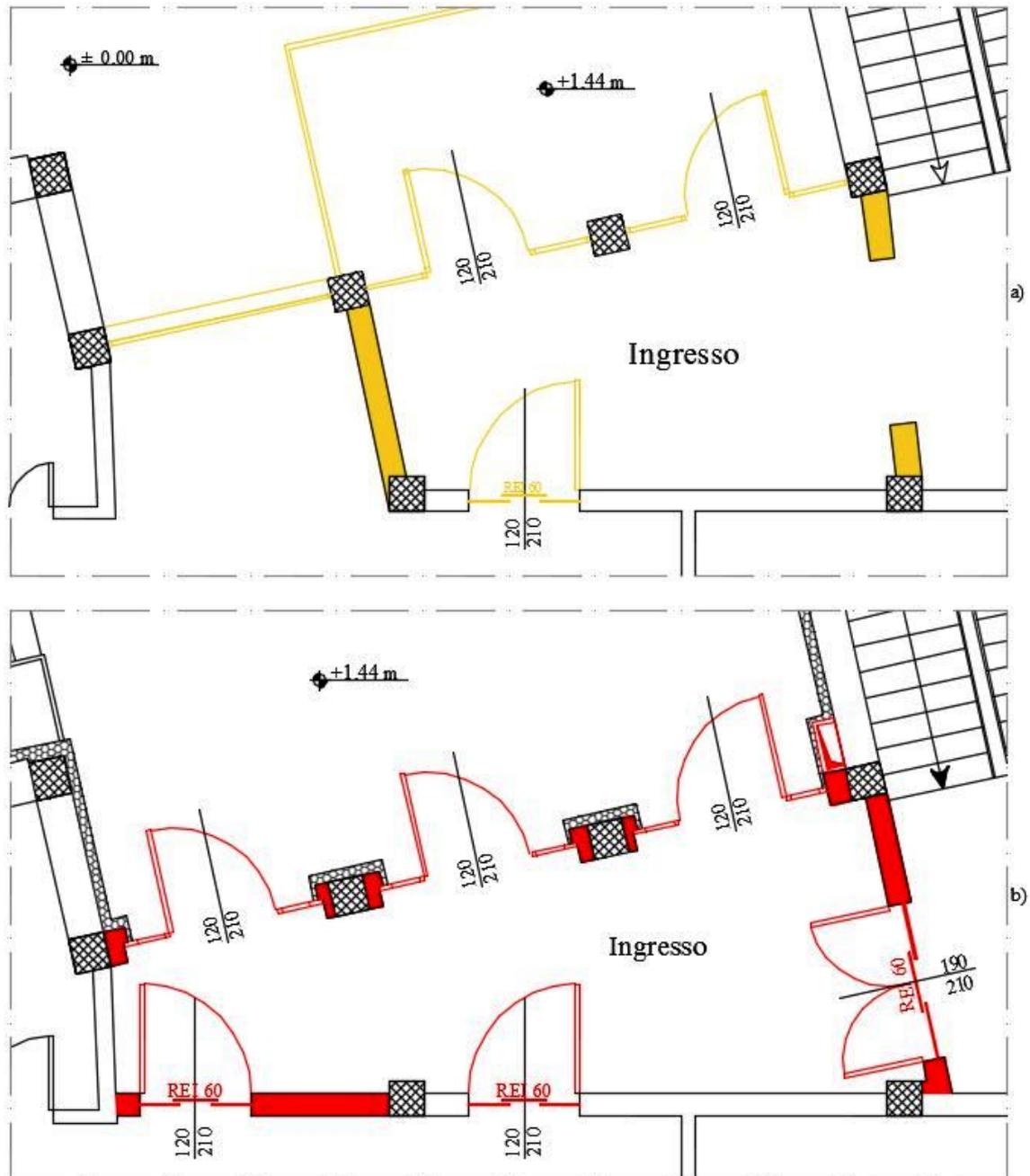


Fig. 3.13 – Adeguamento normativo filtro scala lato nord: stato attuale (a) post intervento (b)

In secondo luogo sono stati realizzati interventi per creare una terza uscita di sicurezza sul lato sud della scuola. Tale scelta è stata motivata dal problema di deflusso, come spiegato nell'analisi dello stato di fatto, che si può presentare se l'esodo avvenisse durante l'occupazione della mensa.

L'intervento prevede di creare un corridoio di larghezza pari a 1.75 m tra l'aula esistente e la mensa, riducendone le dimensioni di quest'ultima. La larghezza del corridoio è vincolata dal fatto di voler mantenere l'apertura esistente, la quale viene semplicemente ampliata in altezza, trasformando l'attuale finestra in una porta. Il dislivello di 1.44 m viene superato per mezzo di una struttura metallica esterna formata da un pianerottolo, avente dimensioni pari a 2.0 x 1.50 m, ed una rampa di scale di larghezza pari a 1.20 m, formata da nove alzate. Oltre ai fini della sicurezza, la nuova uscita può essere sfruttata come ulteriore e più rapido collegamento tra l'edificio e il cortile esterno.

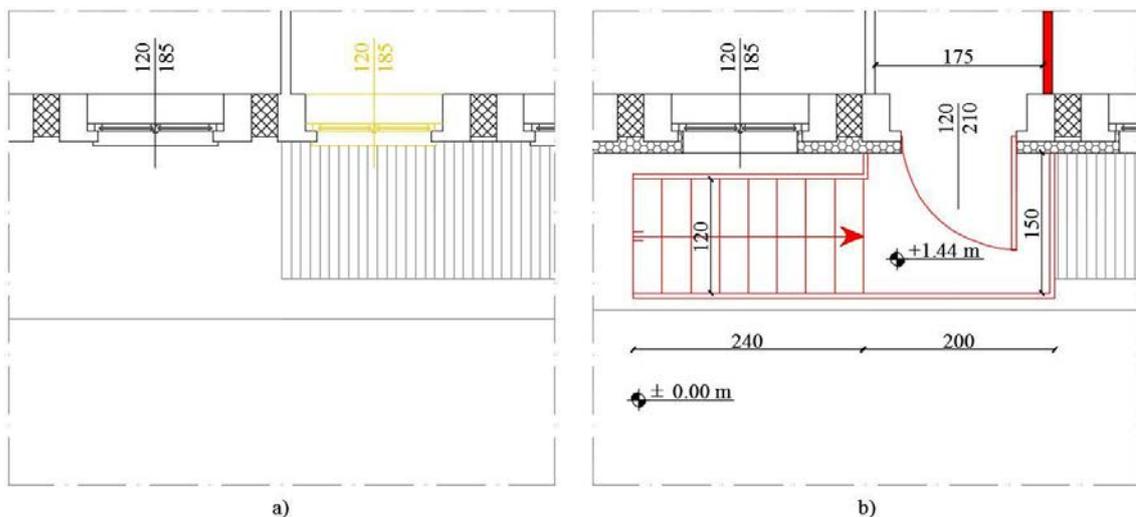


Fig. 3.14 – Uscita di sicurezza lato sud: stato attuale (a) post intervento (b)

All'interno dell'edificio, dovendo garantire la compartimentazione dei locali adibiti a deposito, sono stati previsti interventi riguardanti le pareti divisorie, realizzate con adeguato spessore in base alle disposizioni normative del D.M. 16 febbraio 2007, e installando porte tagliafuoco con caratteristiche REI 60 con sistema di auto chiusura.

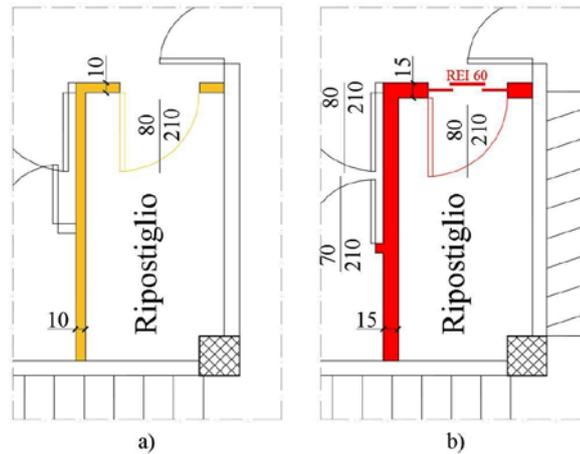


Fig. 3.15 – Compartmentazione depositi: stato attuale (a) post intervento (b)

Un altro lavoro di messa in sicurezza riguarda l'ampliamento della scala esterna sul lato ovest, che permette l'esodo dal piano seminterrato verso il cortile della scuola. L'intervento prevede la demolizione e ricostruzione del muro contro terra in aderenza alla scala, con il relativo ampliamento della scala stessa fino alla larghezza minima di 1.20 m, come previsto dalla normativa. Con il rifacimento del muro, inoltre, viene installata una nuova pensilina a copertura della scala sottostante.

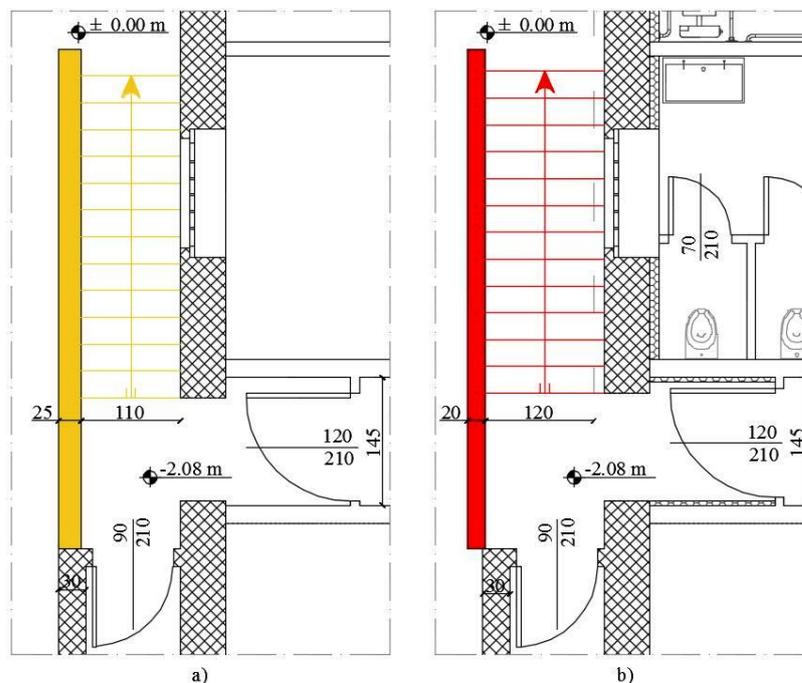


Fig. 3.16 – Scala esterna lato ovest: stato attuale (a) post intervento (b)

Infine, ma non meno importante, è prevista l'installazione dei sistemi fermaporta elettromagnetici per le porte REI 180 esistenti, dotate già di perni a molla per l'autochiusura, che si trovano ai piani seminterrato, primo e secondo.

### 3.2.4 Adeguaenti per l'abbattimento delle barriere architettoniche

Per eliminare gli ostacoli rappresentati dai due gradini da 10 cm in corrispondenza dell'accesso ai servizi igienici dei piani seminterrato, primo e secondo, si sono elaborate le seguenti soluzioni:

- per il piano seminterrato, dato che per questo piano si prevede una ridistribuzione funzionale dei locali, si procede con l'eliminazione dei gradini, portando la parte di solaio rialzato alla quota di piano pari a -2.08 m.
- per i piani primo e secondo, il primo gradino verrà superato realizzando, nel corridoio antistante i bagni, una rampa inclinata della lunghezza di 2.50 m con pendenza del 4%. Per il secondo gradino la soluzione è quella eliminarlo, abbassando il relativo solaio rialzato, e sostituire i sanitari attuali, vasi alla turca, con sanitari appesi, risolvendo così anche l'eventuale problema di inclinazione degli impianti di scarico. Viene inoltre ampliato il bagno centrale per adeguarlo alle necessità dei disabili.

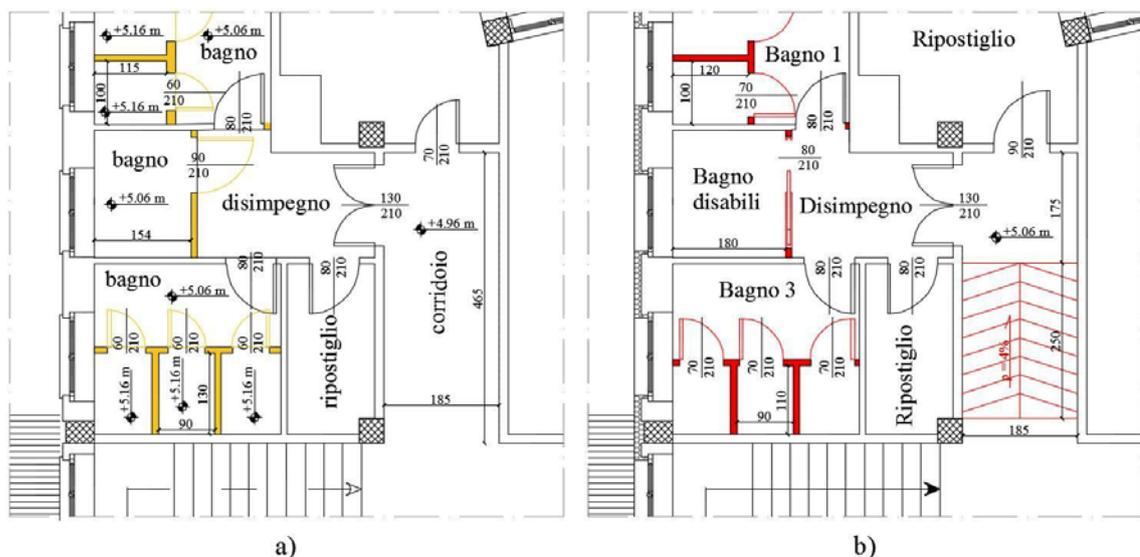


Fig. 3.17 – Superamento dislivello accesso bagni: stato attuale (a) post intervento (b)

## **3.3 Riqualificazione funzionale**

### **3.3.1 Adeguamento spazi esistenti e individuazione di nuovi laboratori**

Le esigenze della direzione scolastica della scuola primaria M. Buonarroti richiedevano l'ampliamento delle aule didattiche e la creazione di nuovi laboratori e aule per attività mirate all'interno del fabbricato. Esse però erano in contrasto tra loro poiché l'ampliamento delle aule esistenti avrebbe portato ad una sottrazione di spazio utilizzabile per eventuali nuovi laboratori.

Dagli elaborati planimetrici è risultato che le dimensioni dei locali utilizzati per le lezioni frontali sono dimensionati adeguatamente, pertanto, non si prevedono interventi che ne modifichino la geometria. La definizione dei nuovi spazi per la didattica avviene attraverso una redistribuzione interna dei locali, sfruttando anche quegli spazi che al momento risultano vuoti ed inutilizzati.

Gli interventi di riqualificazione hanno riguardato tutti i piani dell'edificio scolastico e sono stati progettati tenendo in considerazione tutte le normative vigenti, soprattutto in termini di sicurezza.

#### *Piano seminterrato*

In questo livello sono stati progettati gli interventi di maggior rilievo:

- La palestra viene spostata in un nuovo corpo edilizio esterno (tutte le relative informazioni verranno esplicitate nel paragrafo successivo) ed al suo posto verranno localizzati due laboratori per attività di educazione artistica, ciascuno dei quali con un proprio ripostiglio per potervi riporre il materiale e accessori inerenti a tale attività.
- Viene, inoltre, ampliata l'aula pre scuola, utilizzabile anche per eventuali attività di sostegno.
- Nella parte nord-est, il laboratorio di pittura (attualmente inutilizzato) e i bagni con gruppo docce vengono adibiti a due laboratori di musica.

- Sul lato ovest, dei nuovi gruppi bagno sostituiscono lo spogliatoio ed il ripostiglio, il quale viene ridimensionato.
- Nel lato nord, infine, dove vi è uno spazio chiuso inutilizzato, si crea un locale adibito a deposito collegato con apposita apertura verso l'interno.

La decisione di collocare questi laboratori al piano seminterrato riguarda il fatto di poter dare la possibilità anche alla collettività esterna di poterne usufruire, accedendovi dalla scala esterna ed utilizzando quella sul lato nord solo in caso di emergenza. Questi laboratori sono in numero di due per permettere a due classi di svolgere contemporaneamente le stesse attività, ma anche per rispondere alle richieste della direzione didattica dando la possibilità di suddividere ciascuna classe in due gruppi più piccoli per una didattica più coinvolgente tra docenti e allievi.

Le relative informazioni planimetriche sono definite nell'allegato B1

#### Piano rialzato

Su questo livello gli interventi hanno lo finalità principale di un adeguamento normativo in termini di sicurezza. A livello funzionale non vi è stata alcuna ridistribuzione dei locali, ma si è progettata una nuova dinamica di collegamento tra il piano campagna e l'ingresso della scuola sul lato nord.

La scelta di ingrandire il piano antistante l'ingresso, deriva, non solo da motivazioni dovute alla sicurezza, ma anche, dalla decisione di lasciare una più ampia libertà di movimento a chi vi transita. Inoltre, la disposizione delle scale e delle rampe di collegamento tra il livello strada e l'ingresso permette una maggiore dinamicità tra il cancello d'entrata, a nord-ovest, e l'ingresso principale. E' stato infine previsto, nell'angolo nord-est, una rampa di scale per agevolare e velocizzare il collegamento tra quella zona di cortile e l'ingresso.

Le relative informazioni planimetriche sono definite nell'allegato B2

### Piano primo

In questo caso vi è stata semplicemente una redistribuzione dei locali cambiando talvolta la destinazione d'uso:

- sul lato nord, l'infermeria viene collocata al posto del ripostiglio e la biblioteca viene sostituita dall'aula docenti.
- I locali nell'ala est vengono adibiti a biblioteca con sala lettura e sala riunioni.
- I restanti quattro vani mantengono la funzione di aule didattiche.

Le relative informazioni planimetriche sono definite nell'allegato B2

### Piano secondo

Come per il piano precedente, è stata solo riprogettata la destinazione d'uso degli ambienti interni che riguardano unicamente il locale sul lato est adiacente all'ascensore che viene destinato ad essere un laboratorio di scienze.

Le relative informazioni planimetriche sono definite nell'allegato B3

## **3.3.2 Progettazione nuova palestra**

La redistribuzione dei vani e la definizione dei nuovi locali all'interno della scuola M. Buonarroti, ha portato alla progettazione di un nuovo fabbricato esterno adibito a palestra sportiva. Unitamente alle esigenze di uno spazio più ampio e libero da ostacoli, il nuovo fabbricato permette lo svolgimento dell'attività fisica in maniera sicura ed in un maggiore comfort. All'interno di questa palestra, inoltre, sarà possibile svolgere le rappresentazioni teatrali, mentre tutt'ora si svolgono nell'attuale palestra nel seminterrato.

La realizzazione del nuovo plesso sportivo consentirà alla collettività cittadina di usufruirne per la pratica di discipline sportive con competizioni ufficiali ed amatoriali.

### 3.3.2.1 individuazione area

La progettazione della palestra è iniziata individuando l'area di edificazione. Non essendoci alternative per il tipo e le dimensioni dell'edificio previsto, la scelta è ricaduta nella parte sud del lotto in aderenza con i confini ovest e sud,

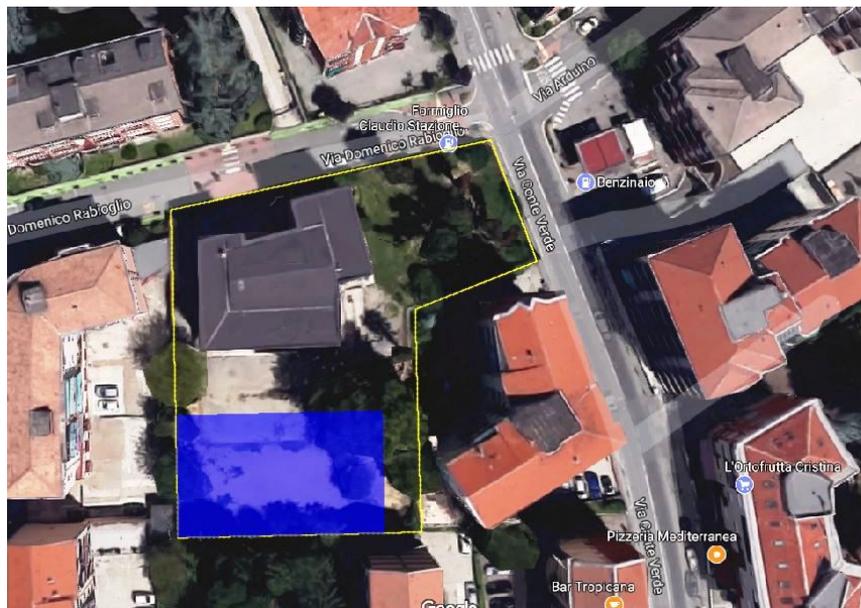


Fig. 3.18 – Individuazione area palestra

Il fabbricato, di lati 33.40 m e 20.90 m, occupa un'area di 698 m<sup>2</sup>. E' posto ad una distanza di 10 m dall'edificio scolastico e di 5 m dal confine est.

### 3.3.2.2 Caratteristiche costruttive e tecnologiche

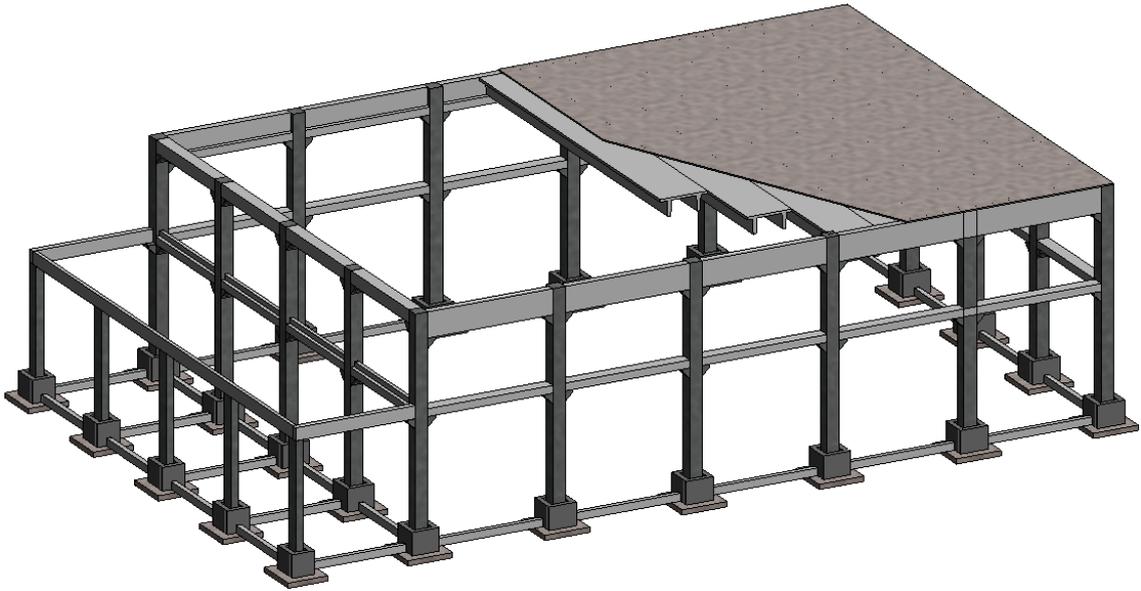
Per la progettazione della palestra si è prevista una struttura portante costituita da fondazioni ed elementi in elevazione in cls prefabbricati. La tecnologia degli elementi di tamponamento e di finitura è anch'essa di tipo prefabbricata. Le fondazioni sono costituite da plinti collegati tra loro da cordoli di irrigidimento in cls. La struttura in elevazione è possibile suddividerla, per semplicità, in due sotto-strutture.

La prima, che racchiude il campo da gioco, è costituita da pilastri con sezione quadrata, di lato pari a 50 cm, che si elevano per un'altezza di 8.0 m, lungo tutto il perimetro. Sui lati nord e sud, i pilastri, disposti con passo di 5.50 m, formano i due telai principali, trasversalmente ai quali, sui lati est ed ovest, si dislocano altri pilastri, con passo pari a 4.95 m, con le stesse caratteristiche dimensionali, per irrigidire e controventare la

strutture dandogli un effetto scatolare. Ciascun elemento verticale è provvisto di mensole sulle quali poggiano le travi. Per i telai principali si posizionano alla quota di 7.0 m travi con sezione ad “L”; per i due telai secondari, invece, le travi hanno sezione quadrata 50x50 cm, posizionate alla quota di 7.5 m. Su tutto il perimetro strutturale, ad esclusione del lato est, alla quota di 4.0 m, si dispongono travi di sezione rettangolare, 30x50 cm (h x b), per un duplice scopo: quello di irrigidire la struttura e di fornire un appoggio e controventamento ai pannelli prefabbricati di tamponamento. Infine il solaio di copertura, che forma il tetto piano, è costituito da tegoli “a doppio T” resi solidali da una soletta in cls gettata in opera, sulla quale viene applicato uno strato di isolante termico e un massetto per dare la pendenza necessaria allo scolo dell’acqua piovana.

La seconda parte della struttura è quella relativa alla zona spogliatoi. Parallelamente al telaio sul lato est della prima struttura, alla distanza di 4.9 m (distanza assiale), si posizionano altri cinque pilastri. Essi hanno sezione rettangolare pari a 50x30 cm (la dimensione maggiore è longitudinale al lato corto del plesso sportivo) e si elevano per un’altezza pari a 5.5 m, per i due pilastri più a sud, e 4.0 m, per i restanti. Sulla sommità dei pilastri poggiano travi con sezione ad “L”: poiché tra il secondo e terzo pilastro, partendo dal lato sud, c’è un dislivello di 1.5 m, il secondo pilastro sarà dotato di una mensola alla quota di 4.0 m per garantire la planarità della trave. In modo speculare a queste travi, ce ne sono altrettante che poggiano su mensole predeterminate appartenenti ai pilastri quadrati sul lato est della prima struttura.

La copertura della zona spogliatoi è costituita da lastre alveolari in c.a. sulle quali viene gettata una soletta di completamento, posizionato uno strato isolante ed infine un massetto di pendenza.



*Fig. 3.19 – Telaio strutturale palestra*

La tamponatura esterna è costituita con pannelli in cls a taglio termico e da lastre in policarbonato alveolare in modo tale da minimizzare le perdite di calore e garantire un adeguato comfort per gli occupanti. Le finiture esterne sono realizzate con pannelli in alluminio preverniciato, montati su una struttura metallica fissata ai pannelli in cls. Gli infissi sono anch'essi in alluminio con taglio termico per garantire la continuità dell'isolamento dell'edificio.



*Fig. 3.20 – Vista 3D palestra*

A livello impiantistico, per il riscaldamento si è prevista l'installazione di una caldaia a condensazione, per servire la zona spogliatoi, e un'unità trattamento aria (UTA) per la zona riservata all'attività fisica. Alla caldaia a condensazione viene associato un sistema a pannelli solari per diminuire i consumi per la produzione di acqua calda sanitaria e il riscaldamento. Per sopperire, invece, al bisogno di energia elettrica dovuto all'impianto di illuminazione e l'alimentazione dell'UTA, si prevede l'installazione di un impianto fotovoltaico. I pannelli solari, fotovoltaici e l'UTA vengono posizionati sulla copertura piana al di sopra del campo da gioco.

### **3.3.2.3 Distribuzione funzioni interne**

Lungo tutta la parete est del plesso sportivo, per una larghezza di 5.10 m, sono localizzati l'ingresso, la zona spogliatoi e i locali accessori. Questi ultimi sono costituiti da un locale tecnico per la centrale termica, alla quale si accede solo dall'esterno, e da un deposito per l'attrezzatura sportiva.

La zona spogliatoi si compone di tre locali: due spogliatoi più grandi, destinati alle squadre o per gli allievi della scuola, ed uno più piccolo per gli arbitri o i docenti scolastici. Ogni locale è fornito di servizi igienici e docce.

La palestra vera e propria dove viene svolta l'attività sportiva occupa tutta la restante parte, che al netto occupa una superficie di 27.0 m di lunghezza per 19.05 di larghezza. Su quest'area si sono previste aree di gioco per diverse discipline.

- Un campo da pallavolo, con dimensioni regolamentari 18.0 x 9.0 m e fasce di rispetto pari a 5.0 m ai lati e 4.5 m dalle linee di fondo. Avendo fasce di rispetto di larghezza superiore ai 3.0 m ed un'altezza libera di 7.0 m, in base ai regolamenti della Federvolley e della FIVB, la palestra è omologabile per ospitare competizioni nazionali ufficiali.
- Un campo da basket, di dimensioni pari a 26.0 x 15.0 m e fasce di rispetto pari a 2.0 m ai lati e 0.5 m dalle linee di fondo. Le limitate dimensioni non consentono l'omologazione per le gare ufficiali della FIP, ma può essere ugualmente utilizzato per allenamenti o campionati amatoriali.

- Un campo da calcio a 5, con dimensioni pari a 25.0 x 15.0 m e fasce di rispetto larghe 2.0 m ai lati e 1.0 m dalle linee di fondo. In base al regolamento FIGC, queste sono le dimensioni minime affinché il campo possa essere omologato per gare ufficiali dei campionati regionali (serie C1, C2 e D).

Tutti gli elaborati architettonici relativi alla palestra sono riportati nell'allegato C1 e C2.

#### **3.3.2.4 Collegamento scuola-palestra**

La nuova palestra, trovandosi distaccata rispetto all'edificio scolastico viene messa in comunicazione con quest'ultimo attraverso un percorso esterno sul lato est. Non essendo fattibile realizzare un collegamento chiuso, si è deciso di disporre almeno di una copertura per garantire un riparo dalla pioggia per gli allievi che devono transitare dalla scuola alla palestra.

Trattandosi di una semplice copertura non praticabile, viene realizzata una struttura leggera con elementi in acciaio. Rimanendo in aderenza all'edificio scolastico, la forma in pianta della tettoia risulta irregolare. Inoltre la struttura di copertura viene realizzata su due livelli: il primo, complanare al livelli più basso della copertura degli spogliatoi, si estende fino al confine sud della scuola, e il secondo, rialzato di 0.95 m, soprastante l'uscita sul lato est; le due parti pianeggianti sono collegate da una falda inclinata che copre la zona occupata dalle rampe di accesso.

Per i pilastri vengono utilizzati profilati scatolari cavi di sezione quadrata 200x200x5 mm, per le travi principali si adoperano profilati scatolari cavi con sezione rettangolare 300x200x6 mm e invece per l'orditura secondaria si utilizzano profilati IPE 160. Il manto di copertura è costituito da una doppia lamiera grecata che racchiude uno strato fono isolante. Tutti gli elementi strutturali sono uniti tra loro mediante saldatura e bullonatura.



Fig. 3.21 – Struttura portante tettoia

Sul contorno laterale della tettoia, infine, vengono installati anche in questo caso pannelli in alluminio preverniciato per dare un senso di continuità con la nuova palestra.

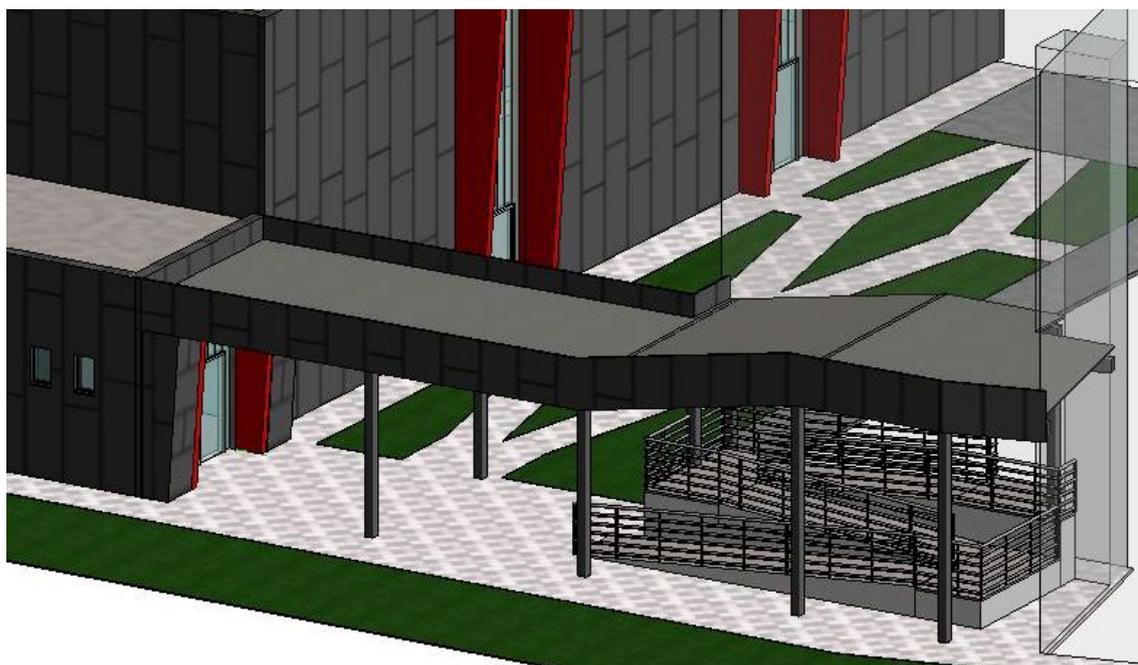


Fig. 3.22 – Vista 3D collegamento scuola-palestra

Gli elaborati relativi alla copertura del collegamento scuola-palestra sono riportati nell'allegato C3 e C4.

### 3.3.2.5 Analisi finale

Le scelte progettuali sulla tipologia di materiali utilizzati, sono dovute a motivazioni in abito logistico. La tecnologia a secco permette di velocizzare il processo di edificazione e minimizzare gli spazi di cantiere. Riducendo i tempi, inoltre, si riesce ad avere un risparmio sui costi di manodopera e delle attrezzature.



Fig. 3.23 – Fotoinserimento

A livello architettonico, la scelta di usare forme e linee semplici, deriva dal fatto che la nuova palestra è localizzata in un area urbana residenziale e ritrovandosi in un contesto costituito da fabbricati con forme squadrate e regolari, risultava inadeguato adoperare forme avveniristiche, o comunque linee che nel paesaggio urbano legherebbero poco.

## CONCLUSIONI

La necessità di adeguare gli edifici scolastici alle normative ed alle esigenze didattiche attuali, richiede interventi di riqualificazione che possono fornire diversi livelli di sicurezza e comfort, in base alle tecnologie e ai materiali impiegati. Come è facile intuire, i livelli prestazionali maggiori si possono ottenere attraverso l'utilizzo di materiali e componenti migliori sul mercato. L'elevata qualità del prodotto comporta però degli alti costi e, sovente, la Pubblica Amministrazione punta semplicemente a garantire i livelli minimi di sicurezza imposti dalle leggi.

Bisogna, inoltre, tenere sempre presente che la maggior parte degli edifici scolastici in Italia sono vetusti e con evidenti segni di obsolescenza e spesso, anche solo per garantire i livelli minimi di sicurezza, sono necessari interventi di riqualificazione molto costosi.

Trattandosi di edilizia pubblica, prima della fase vera e propria di progettazione degli interventi, sarebbe necessario eseguire un'analisi costi-benefici in cui, considerando l'età, la tipologia e lo stato di fatto del fabbricato, si valuta la fattibilità economica della riqualificazione. Si possono fare due considerazioni tenendo separati l'aspetto finanziario dei costi da quello di utilità e rendimento dei benefici. La prima considerazione, che tiene conto dell'aspetto economico, verte sul fatto che gli interventi di riqualificazione possano essere meno esosi rispetto a quelli di demolizione e nuova costruzione.

La seconda considerazione, che valuta i benefici derivanti da una riqualificazione, riguarda il fatto che, nonostante possano essere garantite la sicurezza antincendio ed antisismica, il miglioramento energetico e l'adeguamento funzionale, non potranno mai essere raggiunti standard elevati, soprattutto quelli relativi alle indicazioni del MIUR nell'ambito degli spazi legati alle nuove dinamiche della didattica.

E' necessario svolgere una pianificazione preventiva di tutti gli interventi necessari alla riqualificazione e all'adeguamento normativo con gli strumenti che la legislazione attuale sulle opere pubbliche consente. La fase "preliminare" della progettazione, ora definita "studio di fattibilità tecnico-economico", dovrebbe consentire alla Pubblica Amministrazione di avere il quadro completo degli interventi necessari da eseguire, permettendo una programmazione nel tempo dei lavori e, di conseguenza, un'azione coordinata sull'edificio.

In ultima analisi, è fondamentale valutare se intervenire con una riqualificazione, seguendo l'attuale politica volta al risparmio economico con il solo obiettivo di mantenere in funzione l'edificio, o procedere alla demolizione e successiva edificazione di un nuovo fabbricato, traslocando per un determinato periodo l'attività e le funzioni in un altro stabile, con enormi difficoltà ad individuare delle soluzioni temporanee adeguate, potendo però garantire con la nuova struttura scolastica livelli di sicurezza, tecnologia e funzionalità più avanzate.

Alla luce degli interventi di riqualificazione progettati per la scuola primaria M. Buonarroti, sulla base dei dati raccolti con l'analisi dello stato di fatto, si evince che per ottenere i livelli qualitativi base di sicurezza e comfort dettati dalle normative, o anche solo da obblighi morali della società, l'Ente locale preposto dovrà usufruire di sostanziali finanziamenti statali.

A titolo personale, ritengo che questi interventi siano adeguati soltanto sul breve periodo, poiché le diverse normative sono in continua evoluzione e pongono vincoli sempre più restrittivi, con la forte possibilità che siano richiesti nuovi interventi prima ancora di poter ammortizzare le spese sostenute. A tal proposito, considerando anche il fatto che l'edificio scolastico è in funzione da circa sessant'anni, nel prossimo futuro, si potrebbe arrivare alla decisione di demolirlo e ricostruirlo vanificando così le spese per gli interventi di riqualificazione progettati in questa tesi.

# BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

## Bibliografia

- Norme Tecniche per le Costruzioni integrate con la Circolare applicativa – EPC editore – Roma 2016
- Zerbinatti M., Scarzella P. – Recupero e conservazione dell’edilizia storica – Ed. Alinea – Perugia 2009
- Cimellaro G.P., Marasco S. - Fundamentals of Dynamics of Structures and Earthquake Engineering - Universitas Studiorum 2015
- Corrado V., Fabrizio E. - Fondamenti di Termofisica dell’Edificio e Climatizzazione - Ed. CLUT – Torino 2012

## Sitografia

- [http://www.camera.it/leg17/824?tipo=A&anno=2017&mese=08&giorno=02&view=filtered\\_scheda&commissione=07#data.20170802.com07.allegati.all00010](http://www.camera.it/leg17/824?tipo=A&anno=2017&mese=08&giorno=02&view=filtered_scheda&commissione=07#data.20170802.com07.allegati.all00010)
- <https://www.legambiente.it/temi/scuola/edifici-scolastici>
- <http://www.ingegneri.info/news/edilizia/edilizia-scolastica-in-italia-il-miur-fa-il-punto/>
- <http://www.flcgil.it/rassegna-stampa/nazionale/quale-e-la-situazione-dell-edilizia-scolastica.flc>
- <http://www.legislazionetecnica.it/1968446/prd/news-normativa/le-nuove-linee-guida-nazionali-la-certificazione-energetica-degli-edifici>
- <http://www.legislazionetecnica.it/3313786/prd/news-normativa/fonti-rinnovabili-negli-edifici-nuovi-e-ristrutturati-obblighi-decorrenze>
- <https://www.reteclima.it/piano-20-20-20-il-pacchetto-clima-energia-20-20-20/>
- <http://www.infobuildenergia.it/approfondimenti/cosa-cambia-con-la-nuova-certificazione-energetica-degli-edifici-245.html#>

- [http://www.ingenioweb.it/Articolo/2632/Miglioramento\\_della\\_risposta\\_al\\_sistema\\_con\\_controventi\\_dissipativi.html](http://www.ingenioweb.it/Articolo/2632/Miglioramento_della_risposta_al_sistema_con_controventi_dissipativi.html)
- <http://hubmiur.pubblica.istruzione.it/web/ministero/cs110413>
- <https://www.oecd.org/edu/ceri/The%20ILE%20project.pdf>
- [http://www.fivb.org/EN/Refereeing-Rules/RulesOfTheGame\\_VB.asp](http://www.fivb.org/EN/Refereeing-Rules/RulesOfTheGame_VB.asp)
- <http://www.fip.it/regolamenti.asp>
- <http://www.figc.it/it/98/3821/Norme.shtml>

## ALLEGATO 1 - Schede tecniche

## ALLEGATO 2 – Elaborati grafici

Elaborati stato di fatto:

- Tavola A.1 - Pianta piano seminterrato, pianta piano rialzato
- Tavola A.2 - Pianta piano primo, pianta piano secondo

Elaborati stato di progetto:

- Tavola B.1 - Planimetria lotto, pianta piano seminterrato
- Tavola B.2 - Pianta piano rialzato, pianta piano primo
- Tavola B.3 - Pianta piano secondo, pianta piano copertura

Elaborati progetto nuova palestra:

- Tavola C.1 - Palestra: piante, sezione, particolare costruttivo
- Tavola C.2 - Palestra: prospetti
- Tavola C.3 – Copertura collegamento esterno: piante, schema orditura
- Tavola C.4 – Copertura collegamento esterno: sezioni, particolare costruttivo

## ALLEGATO 1: Schede tecniche

### Isover - Pannelli EPS



#### DESCRIZIONE

Pannelli in polistirene espanso sinterizzato a marchio IIP UNI con bordi ortogonali. Disponibili nelle seguenti tipologie:

- Isover EPS 038: tipo EPS 80
- Isover EPS 036: tipo EPS 100
- Isover EPS 035: tipo EPS 120

Il pannello Isover EPS 036 è certificato ETICS.

#### APPLICAZIONE

Isolamento termico e acustico dall'esterno di pareti e solai; isolamento a cappotto.

#### VANTAGGI

- Isolamento termico
- Leggerezza
- Facilità di taglio
- Facilità di posa

#### STOCCAGGIO

Il prodotto deve essere immagazzinato al coperto, in ambienti ben ventilati e lontano da fonti di calore e di accensione (scintille e cavi elettrici).

Caratteristiche	Valore	Unità di misura	Norma di riferimento	Marcatura CE
Conducibilità termica dichiarata $\lambda_D$ Isover EPS 038	0,038	W/(m·K)	EN 12667	CE
Conducibilità termica dichiarata $\lambda_D$ Isover EPS 036	0,036	W/(m·K)	EN 12667	CE
Conducibilità termica dichiarata $\lambda_D$ Isover EPS 035	0,035	W/(m·K)	EN 12667	CE

Spessore (mm) *	Resistenza termica dichiarata $R_D$ (m <sup>2</sup> K/W) Isover EPS 038 CE	Resistenza termica dichiarata $R_D$ (m <sup>2</sup> K/W) Isover EPS 036 CE	Resistenza termica dichiarata $R_D$ (m <sup>2</sup> K/W) Isover EPS 035 CE	Dimensioni (m)	m <sup>2</sup> /pallet
40	1,05	1,10	1,10	0,50 x 1,00	75,00
50	1,30	1,35	1,40	0,50 x 1,00	60,00
60	1,55	1,65	1,70	0,50 x 1,00	50,00
80	2,10	2,20	2,25	0,50 x 1,00	35,00
100	2,60	2,75	2,85	0,50 x 1,00	30,00

### Flatrock - Pannelli di lana di roccia

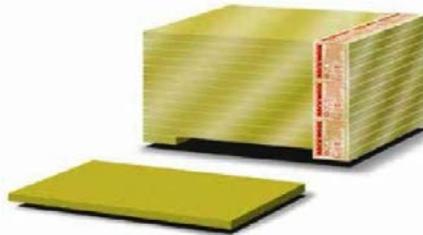
#### Flatrock 70

Pannello rigido in lana di roccia non rivestito a doppia densità, ad elevata resistenza a compressione, calpestabile, per l'isolamento termico, acustico e la sicurezza in caso di incendio.

All'interno della gamma per coperture piane, Flatrock 70 si distingue in termini di proprietà meccaniche, grazie ai valori di carico distribuito  $\sigma_{10} \geq 70$  kPa e carico puntuale  $F_p \geq 800$  N.

Raccomandato per applicazioni a tetto caldo in cui l'impermeabilizzazione è realizzata con membrane sintetiche o bituminose.

Il prodotto correttamente installato presenta il lato a densità superiore, caratterizzato da apposita marchiatura, rivolto verso l'esterno.



Dimensioni disponibili  
Formato 2000x1200 mm  
Spessori da 60 a 160 mm

Dati tecnici	Valore	Norma
Reazione al fuoco	A1	UNI EN 13501-1
Conducibilità termica dichiarata	$\lambda_D = 0,039$ W/(mK)	UNI EN 12667, 12939
Coefficiente di resistenza alla diffusione di vapore acqueo	$\mu = 1$	UNI EN 13162
Densità	$\rho = 165$ circa (220/150) kg/m <sup>3</sup>	UNI EN 1602
Resistenza a compressione (carico distribuito)	$\sigma_{10} \geq 70$ kPa	UNI EN 826
Resistenza al carico puntuale	$F_p > 800$ N	UNI EN 12430
Resistenza a trazione nel senso dello spessore	$\sigma_{te} \geq 15$ kPa	UNI EN 1607
Calore specifico	$C_p = 1030$ J/(kgK)	UNI EN ISO 10456

Spessore e $R_D$						
Spessore [mm]	60	80	100	120	140	160
Resistenza termica $R_D$ [m <sup>2</sup> K/W]	1,50	2,05	2,55	3,05	3,55	4,10



## Caleffi - Valvole termostatiche con guscio antimanomissione



### Guscio antimanomissione ed antifurto

La versione antimanomissione ed antifurto del comando termostatico serie 200, 202 e cod. 19900 CNT si ottiene montando sulla manopola l'apposito guscio (cod. 209000) come rappresentato a fianco. Il suo fissaggio è ottenuto mediante l'impiego di due viti dotate di testa speciale e quindi serrabili solamente mediante l'impiego dell'apposita chiave (cod. 209001).



### Caratteristiche tecniche valvole

#### Materiale

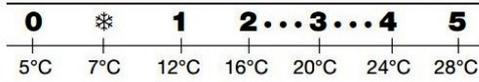
Corpo: ottone UNI EN 12165 CW617N, cromato  
Asta di comando otturatore: acciaio Inox  
UNI EN 10088-3 (AISI 303)

Tenute idrauliche: EPDM  
Cappuccio di protezione: ABS (RAL 9010)

#### Prestazioni

Fluido d'impiego: acqua, soluzioni glicolate  
Max percentuale glicole: 30%  
Pressione differenziale max con comando montato: 1 bar  
Pressione max esercizio: 10 bar  
Campo temperatura fluido vettore: 5÷100°C

### Scala di regolazione comandi serie 199/200/201



### Caratteristiche tecniche comandi serie 199/200/201/202

Scala di regolazione: \* ÷ 5  
Campo di regolazione temperatura: 7÷28°C  
Intervento antigelo: 7°C  
Temperatura ambiente max: 50°C  
Lunghezza tubo capillare serie 201 e cod. 199100: 2 m  
Indicatore di temperatura ambiente serie 202: 16÷26°C

### Caratteristiche tecniche comandi serie 203

Scala di regolazione: - cod. 203502 20÷50°C  
- cod. 203702 40÷90°C  
Temperatura massima sensore: 100°C  
Pressione massima pozzetto: 10 bar  
Lunghezza tubo capillare: 2 m

## Stilnova - Porte tagliafuoco

### PORTE TAGLIAFUOCO - REI 60 - REI 120 - A NORMA UNI 9723



#### TELAIO:

Profilo in lamiera spessore 18/10 pressopiegato a "Z" (6 pieghe di snervamento), guarnizione termoespandente per tenuta ai fumi caldi fissata al telaio tramite adesivo ad altissima aderenza. Montanti laterali corredati di nr. 4 zanche a murare per lato, traverso superiore ad incastro con i montanti tramite squadra fissati mediante viti. Distanziatore a pavimento (da rimuovere dopo la posa in opera). Verniciatura con polveri epossipoliestere polimerizzate a forno RAL 7032. La porta NON E' REVERSIBILE (battuta su tre lati).

**BATTENTE:** In lamiera zincata e preverniciata RAL 7035 spessore 8/10 pressopiegata, scatolata, tamburata, con pacco interno coibente ad alta densità, incollato alle lamiere del battente onde formare un pannello monolitico di elevata compattezza e resistenza da mm. 65 H.

**CERNIERE:** 3 cerniere speciali tipo DIN antincendio con boccia reggispinta di cui 2 portanti e 1 centrale con perno a molla interno tarabile per la chiusura automatica della porta.

**SERRATURA:** "CISA" a norma CE con 1 chiave di serie tipo patent 1 mandata, (cilindro tipo yale 3 chiavi su richiesta)

**MANIGLIA:** Di conformazione antinfortunistica contro agganci accidentali, con anima in acciaio e rivestimento plastico colore nero.

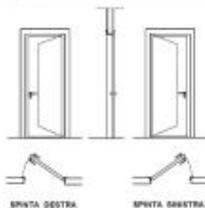
**TARGHETTA DI IDENTIFICAZIONE:** Riportante nome del produttore, anno di fabbricazione, ente certificante, numero del certificato di prova, classe di resistenza al fuoco, Nr.lotto di fabbricazione, Nr.matricola.

#### PROTEZIONE:

Battente con pellicola protettiva da togliere dopo l'installazione.

#### COLORI A RICHIESTA:

Possibilità di verniciatura porte su richiesta o effetto legno (rovere chiaro, noce scuro, mogano rosso)

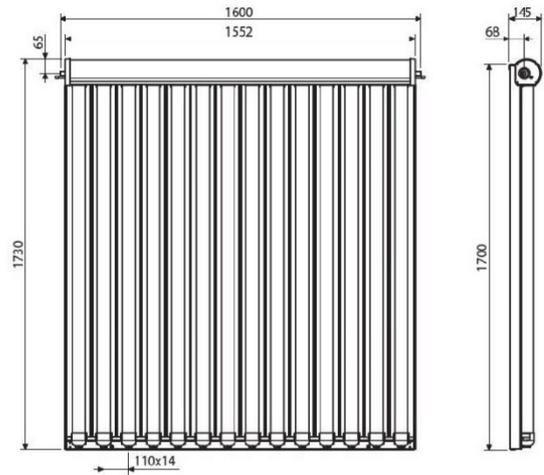
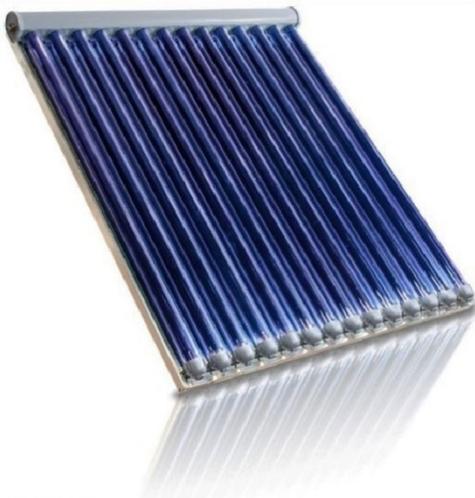


## Opera - Fermaporta elettromagnetico



- Corpo in ABS con base in acciaio zincato
- Alimentazione: 24Vdc - Corrente assorbita: 70mA
- A richiesta : Alimentazione 12Vdc - 12Vac - 48Vdc
- A richiesta: Sensore di stato anta
- Forza trazione: > 55Kg
- Forza trazione regolabile 0-50Kg nella versione 19001R
- Perno antimagnetismo residuo sul corpo magnete
- Connettore di collegamento con varistore anti-disturbo
- Fornito senza contropiastra ( da ordinare a parte )
- Conforme alla norma CE 1155

## Riello - Pannelli solari sottovuoto



### DATI TECNICI

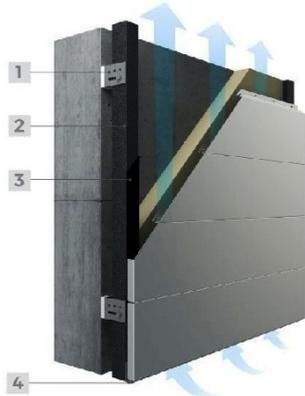
COLLETTORE SOLARE		CSV 25 R	CSV 35 R
Superficie complessiva	m <sup>2</sup>	2,77	3,91
Superficie di apertura	m <sup>2</sup>	2,40	3,43
Superficie effettiva assorbitore	m <sup>2</sup>	2,69	3,84
Collegamenti	DN		18
Peso a vuoto	kg	52	74
Contenuto liquido	l	2,05	2,90
Portata consigliata per m <sup>2</sup> di pannello	l/h		30
Tipo di vetro - Spessore		vetro di sicurezza con superficie antiriflesso - 2 x 1,6 mm	
Assorbimento (α)	%	>94	
Emissioni (ε)	%	<7	
Pressione massima ammessa	bar	10	
Temperatura di stagnazione	°C	268	
Capacità termica (*)	kJ/K	27,6	
IAML = IAMT (50°)		0,96	
Potenza di picco (**)	W	1686	2410
Massimo numero di pannelli collegabili in serie	n°	6	

## Alubel - Pannelli rivestimento palestra



ALU-SKIN è la doga in alluminio di Alubel spa che permette di realizzare rivestimenti di facciata lineari, esteticamente all'avanguardia e personalizzabili con un'ampia gamma di finiture.

ALU-SKIN si installa con estrema semplicità: l'innovativo incastro maschio-femmina a fissaggio nascosto e la vasta gamma di accessori lasciano libero sfogo alla creatività:



### PRODUZIONE STANDARD:

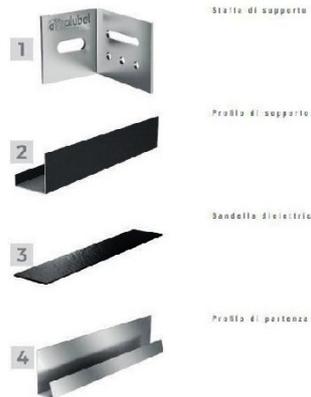
alluminio preverniciato

### CARATTERISTICHE:

doge metallica piana, completamente liscia o micro ondulata con fissaggio nascosto  
elemento metallico ad altezza variabile  
lavorazione di chiusura di testate  
ampia gamma di accessori  
ampia gamma cromatica

### LUNGHEZZE:

standard: da 500 mm a 6200 mm  
lunghezza su richiesta, fino a massimo di 6 metri



## Makrolon – Lastra alveolare di polycarbonato



### I vantaggi offerti dalle lastre:

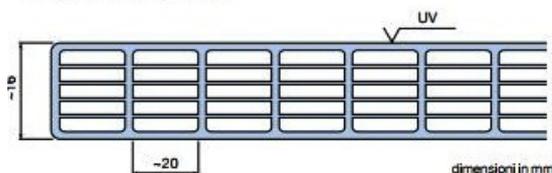
- elevato potere termoisolante
- curvabile a freddo
- ideale per volte a botte



Il **Makrolon® multi UV 6/16-20** è una lastra alveolare di 16 mm di spessore a 6 pareti in polycarbonato. Le caratteristiche della lastra permettono di combinare un grado elevato di trasmissione di luce con un ottimo isolamento termico ed un'eccellente resistenza agli agenti atmosferici. La lastra è, inoltre, leggera, resistente agli urti e facile da montare.

Il **Makrolon® multi UV 6/16-20** è ideale per volte a botte piegate a freddo, ma può essere anche utilizzata per vetrate.

- vetrate industriali, palestre
- lucernari, volte a botte
- fasce luminose
- copertura di piscine
- copertura di passaggi pedonali
- serre
- coperture trasparenti



### DATI TECNICI (VALORI INDICATIVI DI RIFERIMENTO)

Peso	2,8 kg/m <sup>2</sup>	
Larghezza della lastra	990 mm 1.200 mm e 2.100 mm	
Lunghezze massime disponibili	da 2.000 a 11.000 mm	
Raggio minimo di curvatura a freddo <sup>(1)</sup>	2.400 mm	
Trasmissione luminosa <sup>(2)65</sup> (le lastre sono opache alla radiazione UV)	clear 1099: white 1146: IQ-Relax:	circa 59 % circa 49 % circa 40 %
Trasmissione solare totale (fattore solare) g	clear 1099: white 1146: IQ-Relax:	circa 57 % circa 50 % circa 38 %
Trasmissione termica unitaria Ug <sup>(3)</sup>	1,8 W/m <sup>2</sup> K (applicazione verticale) 2,0 W/m <sup>2</sup> K (applicazione orizzontale)	
Coefficiente di dilatazione termica α	0,065 mm/m °C	
Possibile dilatazione dovuta al calore e all'umidità	3 mm/m	
Max. temperatura di lavoro senza carico	120°C	
Potere fono isolante (Rw)	20 dB	
Reazione alla combustione <sup>(4)</sup>	clear 1099, white 1146 bronze 1845 clear 1099	B-s1, d0 (EN13501-1) B1 (DIN 4102)
Resistenza agli urti da palla (DIN 18032, Parte 3)	resistente agli urti da palla (compreso il disco da hockey)	