

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PAVIA  
FACOLTA' DI INGEGNERIA  
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE E ARCHITETTURA  
CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA EDILE - ARCHITETTURA

TESI DI LAUREA

PROGETTO DI UNA SCUOLA PRIMARIA ISOLATA  
SISMICAMENTE AD ANCONA

Candidato: Giulia Scagliotti

Relatore: Chiar.mo Prof. Alessandro Greco  
Correlatore: Chiar.mo Prof. Gian Michele Calvi

A.A. 2014/15

# INDICE

<b>SOMMARIO</b>	<b>8</b>
<b>CAPITOLO 1 - EDILIZIA SCOLASTICA</b>	<b>9</b>
1.1 Dalla scuola tradizionale alla scuola moderna	10
1.2 La sicurezza del patrimonio edilizio scolastico italiano	22
1.2.1 La sicurezza sismica delle scuole italiane	28
1.2.1.1 Storia della normativa sismica	28
1.2.1.2 Vulnerabilità al sisma degli edifici scolastici italiani	30
1.3 Aspetti normativi	33
1.3.1 La riforma dei cicli scolastici e una nuova idea di scuola	33
1.3.2 Localizzazione della scuola	35
1.3.3 Area di intervento	35
1.3.4 Accessibilità e parcheggi	36
1.3.5 Scuola primaria: dimensioni e caratteristiche generali	37
1.3.6 Ingressi ed atrio	38
1.3.7 Unità pedagogica (aula)	38
1.3.8 Spazi per le attività collettive	39
1.3.8.1 Aula Magna – Auditorium	39
1.3.8.2 Biblioteca	39
1.3.8.3 Laboratori ed Atelier	40
1.3.8.4 Spazi per l'apprendimento informale e il relax	40
1.3.9 Palestra	40
1.3.10 Infermeria e pronto soccorso	40
1.3.11 Mensa e cucina	41
1.3.12 Direzione e amministrazione	41
1.3.13 Spazi distributivi	42
1.3.14 Spazi per i servizi igienico-sanitari e spogliatoi	42



1.3.15 Magazzini e archivi	43
1.3.16 Arredamento e attrezzature	44
1.3.17 Spazi a cielo aperto	45
1.3.18 Indici standard di superficie netta (scuola primaria)	45
1.3.19 Norme relative alle condizioni di abitabilità	46
1.3.19.1 Condizioni acustiche	46
1.3.19.2 Condizioni dell'illuminazione e del colore	46
1.3.19.3 Condizioni termoigrometriche e purezza dell'aria	47
1.3.19.4 Condizioni di sicurezza	48
1.4 Riferimenti progettuali	48
1.4.1 Ravenor Primary School (Expansion) a Londra	48
1.4.2 Park Brow Primary School a Kirkby (Regno Unito)	50
1.4.3 Rolex Learning Center a Losanna	51
1.4.4 Copertura della Banca Popolare a Lodi	53
1.4.5 Copertura della corte interna del British Museum a Londra	54
1.4.6 Rivestimento in vetro della Turninn a Reykjavik	56
1.4.7 Spazi per il gioco e il riposo	58
<b>CAPITOLO 2 – LOCALIZZAZIONE DELL'INTERVENTO</b>	<b>61</b>
2.1 Breve storia della città	61
2.2 Edifici scolastici ad Ancona	61
2.2.1 Istituto Comprensivo <i>"Ancona Nord"</i>	62
2.2.2 Istituto Comprensivo <i>"Augusto Scocchera"</i>	62
2.2.3 Istituto Comprensivo <i>"Cittadella Centro"</i>	63
2.2.4 Istituto Comprensivo <i>"Grazie Tavernelle"</i>	63
2.2.5 Istituto Comprensivo <i>"Novelli Natalucci"</i>	64
2.2.6 Istituto Comprensivo <i>"Pinocchio – Montesicuro"</i>	64
2.2.7 Istituto Comprensivo <i>"Posatora – Piano – Archi"</i>	65
2.2.8 Istituto Comprensivo <i>"Quartieri Nuovi"</i>	65

2.3 Parchi pubblici ed aree gioco ad Ancona	66
2.3.1 Parco pubblico Cittadella	67
2.3.2 Parco Pincio	67
2.3.3 Parco del Cardeto	67
2.3.4 Parco del Passetto	67
2.3.5 Parco Belvedere e Parco “Eraclio Fiorani”	67
2.3.6 Parco degli Ulivi	68
2.4 Sismicità	68
2.5 Collocazione dell’area di progetto	69
2.6 Analisi dei servizi presenti nel quartiere	70
2.7 Linee urbane di trasporto pubblico	70
2.8 Analisi dell’area di progetto	71
2.8.1 Terreno	71
2.8.2 Accessi	72
2.8.3 Edificio dismesso preesistente	72
2.8.4 Analisi del verde	74
<b>CAPITOLO 3 - PROGETTO</b>	<b>75</b>
3.1 Descrizione generale dell’intervento	75
3.1.1 Demolizione del fabbricato esistente – Motivazioni	75
3.1.2 Rispetto dell’ambiente e mantenimento parziale del verde	76
3.1.3 Un’area accessibile a tutti	76
3.1.4 Una scuola come Civic Center	77
3.1.5 Progetto dell’edificio scolastico	78
3.2 Funzioni all’interno dell’edificio	79

3.2.1 Unità pedagogiche (Aule)	79
3.2.2 Aula Magna	80
3.2.3 Spazi per le attività collettive	80
3.2.4 Palestra	81
3.2.5 Infermeria	81
3.2.6 Mensa	82
3.2.7 Spazi per l'amministrazione, gli insegnanti ed il personale	82
3.2.8 Sistemi di elevazione verticale	83
3.2.9 Servizi igienici e spogliatoi	83
3.2.10 Locali tecnici	84
3.2.11 Arredi e combinabilità	84
3.2.12 Rispetto delle altezze minime	85
3.2.13 Rispetto del rapporto aeroilluminante	85
<b>CAPITOLO 4 - SISTEMA COSTRUTTIVO E FINITURE</b>	<b>86</b>
4.1 Descrizione generale del sistema costruttivo	86
4.1.1 Solaio interpiano	86
4.1.2 Solaio controterra	87
4.1.3 Solaio di copertura	87
4.1.4 Facciata ventilata	89
4.2 Finiture	90
4.2.1 Pannelli in alluminio	90
4.2.2 Frangisole	90
4.2.3 Uso del vetro	91
4.2.4 Pavimentazione	92
4.2.5 Forme e colori	93
4.2.6 Illuminazione	96
4.2.7 Isolamento acustico	97
4.2.8 Isolamento termico	98
4.2.9 Infissi e sistema di oscuramento	100

<b>CAPITOLO 5 – SISTEMA DI ISOLAMENTO SISMICO</b>	<b>102</b>
5.1 Isolamento sismico	102
5.1.1 Cenni storici	102
5.1.2 Funzionamento dei sistemi di isolamento	103
5.1.3 Benefici e costi	105
5.1.4 Dispositivi di isolamento	106
5.1.4.1 Isolatori elastomerici	106
5.1.4.2 Isolatori a scorrimento	107
5.2 Progettazione strutturale del sistema di isolamento	108
5.2.1 Geometria	108
5.2.2 Dettagli costruttivi	108
5.2.3 Analisi dei carichi	108
5.2.3.1 Carichi permanenti	109
5.2.3.2 Carichi variabili	112
5.2.4 Azione del vento	113
5.2.5 Azione della neve	117
5.2.6 Definizione dell'azione sismica	118
5.2.6.1 Vita nominale	118
5.2.6.2 Classe e coefficiente d'uso	118
5.2.6.3 Categoria di sottosuolo	119
5.2.6.4 Condizione topografica	120
5.2.6.5 Accelerazione orizzontale massima	120
5.2.6.6 Classe di duttilità	120
5.2.7 Spettri di risposta	120
5.2.7.1 Spettro SLE	121
5.2.7.2 Spettro SLU	122
5.2.8 Predimensionamento della struttura	130
5.2.8.1 Trave	130
5.2.8.2 Pilastro	131
5.2.9 Predimensionamento del sistema di isolamento	133

5.3 Modellazione e analisi strutturale	135
5.3.1 Assegnazione dei materiali	136
5.3.2 Assegnazione delle sezioni	136
5.3.3 Assegnazione dei vincoli	136
5.3.4 Analisi statica	137
5.3.4.1 Combinazione delle azioni	137
5.3.5 Analisi modale	139
5.3.5.1 Struttura a base fissa	139
5.3.5.2 Struttura isolata	140
5.3.6 Inserimento degli spettri	140
5.3.7 Combinazioni dell'azione sismica	140
5.4 Verifica allo Stato Limite di Danno – Spostamenti interpiano	141
5.4.1 Struttura a base fissa	141
5.4.2 Struttura isolata	141
5.5 Spostamenti interpiano della struttura isolata	142
5.5.1 Stato Limite di Salvaguardia della Vita	142
5.5.2 Stato Limite di Collasso	142
5.6 Progettazione allo Stato Limite Ultimo	143
5.6.1 Calcolo dell'armatura di una trave (struttura isolata)	144
5.6.2 Calcolo dell'armatura di un pilastro (struttura isolata)	145
5.6.3 Calcolo dell'armatura di una trave (struttura a base fissa)	146
5.6.4 Calcolo dell'armatura di un pilastro (struttura a base fissa)	147
5.6.5 Tabella riassuntiva delle armature	148
5.7 Considerazioni conclusive	149
<b>CAPITOLO 6 – DESCRIZIONE GENERALE DEGLI IMPIANTI</b>	<b>151</b>
6.1 Scelta dell'impianto di riscaldamento e raffrescamento	151

6.2 Impianto ad aria primaria	153
6.2.1 Predimensionamento dell'impianto ad aria primaria	153
6.3 Impianto solare termico	154
6.3.1 Funzionamento dell'impianto solare termico	155
6.3.2 Dimensionamento dell'impianto solare termico	156
6.4 Impianto fotovoltaico	158
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>160</b>
Sitografia	161
Normativa tecnica di riferimento	162
Legislazione	163

## SOMMARIO

Il lavoro oggetto della tesi riguarda la progettazione architettonica e strutturale di una scuola primaria isolata sismicamente, inserita in un quartiere di Ancona. Le scuole devono essere luoghi sicuri e al tempo stesso piacevoli, integrandosi all'interno del quartiere nel quale sono costruite, devono offrire ai bambini numerosi spazi che favoriscano la socialità e il "learning by doing".

Il tema della sicurezza funge da filo conduttore dell'intero lavoro: dalle fasi iniziali di progettazione degli spazi scolastici, in cui sono numerosi i riferimenti alla normativa vigente, sino alla scelta della pavimentazione, dell'illuminazione e degli impianti e del sistema d'isolamento acustico, termico e sismico. Al fine di ridurre la vulnerabilità sismica dell'edificio, è stato previsto un sistema di isolamento sismico alla base. Le analisi e i calcoli effettuati sulla struttura, ipotizzata sia a base fissa sia isolata, permettono di fare un confronto tra le due diverse soluzioni e dimostrano quanto sia efficace e opportuna la scelta di isolare sismicamente l'edificio per contenere i danni agli elementi strutturali e non strutturali, anche in caso di sisma di elevata intensità.

Inoltre, per riqualificare il quartiere, frutto della speculazione edilizia degli anni '60, e coinvolgere la cittadinanza, la scuola è stata concepita come "*Civic Center*". L'edificio è stato reso gradevole e adatto ai bambini ponendo particolare attenzione alla realizzazione di spazi collettivi, di laboratori e di spazi distributivi ampi, che possano servire anche come luoghi d'incontro, e alla scelta dei colori.

La tesi si articola in sei capitoli: il primo presenta una panoramica sull'evoluzione dell'edificio scolastico dal punto di vista architettonico, sulla sicurezza del patrimonio edilizio scolastico italiano e sulla normativa vigente. Nel secondo e nel terzo capitolo si analizza l'area di intervento e viene descritto nei dettagli lo sviluppo del progetto, il quarto descrive il sistema costruttivo e le finiture. Il quinto capitolo affronta il tema dell'isolamento sismico: sono descritte la progettazione del sistema di isolamento, le analisi e le verifiche effettuate, nonché il confronto fra la struttura a base fissa e quella a base isolata. Nel capitolo conclusivo sono invece illustrati e descritti gli impianti scelti.

## CAPITOLO 1 – EDILIZIA SCOLASTICA

### 1.1 Dalla scuola tradizionale alla scuola moderna

È in Grecia che, per la prima volta, i luoghi della cultura e dell'istruzione diventano luoghi "civili", separati dalle zone riservate al culto, ed individuati di volta in volta dai singoli maestri. Nell'Antica Roma era il *pater familias* che si occupava insieme alla *mater* di fare da precettore diretto della propria prole finché le influenze della cultura greca portarono i Romani ad organizzare maggiormente l'insegnamento e ad affidarlo a maestri esterni<sup>1</sup>.

Grazie al ritrovamento di alcune iscrizioni sui muri è possibile rintracciare i luoghi che ospitavano scuole, ambienti chiusi, ma anche aperti, attrezzati solo con sgabelli e una sedia per il maestro<sup>2</sup>. Non esistono invece raffigurazioni o evidenze di edifici di quell'epoca progettati e realizzati funzionalmente solo per l'istruzione<sup>3</sup>.

L'edificio per l'istruzione, come lo intendiamo oggi, è un tipo sostanzialmente nuovo, mutuato dai collegi e convitti sette-ottocenteschi e dal modello claustrale, che si rifà allo schema a corti dei ginnasi dei greci e dei romani. Jean-Nicolas-Luis Durand<sup>4</sup>, all'inizio dell'Ottocento, includeva l'edificio scolastico fra gli edifici pubblici, chiamava *collèges* quelli destinati all'istruzione dei giovani e li illustrava dettagliatamente proprio a partire da quello che egli riteneva essere la matrice tipologica: il ginnasio.

Per molto tempo la cultura e l'istruzione sono state una prerogativa del clero e della nobiltà, solo con l'avvento dell'Illuminismo, l'istruzione pubblica ha cominciato ad essere concepita come mezzo per combattere le differenze sociali e favorire il progredire dell'umanità<sup>5</sup>.

L'introduzione dell'edificio scolastico nel contesto urbano sancisce la nascita di un'architettura civile, alternativa a quella aulica dei palazzi e delle cattedrali e

---

<sup>1</sup> Giuseppe Campagnoli, *L'architettura della scuola – Un'idea per i luoghi della cultura e dell'apprendere*, Franco Angeli, p. 15.

<sup>2</sup> *Ibidem*, p. 15.

<sup>3</sup> *Ibidem*, p. 16.

<sup>4</sup> Jean-Nicolas-Luis Durand, *Précis des leçons d'architecture (École royale polytechnique)* tavola 8: Le Collège.

<sup>5</sup> Alessandra Capanna, *Edifici per la scuola*, Quaderni di architettura dell'ANCE, EdilStampa, p. 9.



capace di registrare i cambiamenti della società e tradurli nella configurazione degli edifici<sup>6</sup>.

Nei secoli recenti gli edifici scolastici si sono trasformati notevolmente. Nell'Ottocento e nel Novecento il loro ruolo istituzionale e rappresentativo era enfatizzato da solenni facciate, poste quasi sul filo stradale e spesso caratterizzate dal ripetersi di una terna di finestre che individuava la dimensione e la posizione delle singole aule, e da un ingresso sovente sollevato rispetto alla quota del marciapiede<sup>7</sup>.

Questa enfasi è andata perdendosi da quando il concetto di scuola e il modo di concepire la didattica sono cambiati: in passato i docenti si limitavano a trasmettere il sapere attraverso lezioni frontali, oggi invece aiutano ad apprendere grazie a modalità di insegnamento più stimolanti e coinvolgenti. Da un'impostazione rigida di spazi e orari si è passati ad una strutturazione pedagogico-didattica che cerca di favorire lo spirito di iniziativa e lo scambio interpersonale, l'attitudine alla ricerca e alla creatività, anche mediante attività didattiche laboratoriali o di gruppo<sup>8</sup>.

L'architettura è stata influenzata dal variare di questa concezione e gli edifici per l'istruzione sono diventati complessi, più articolati e dinamici, luoghi in cui si può "imparare facendo"; in molti casi l'atrio è stato arretrato dalla strada ed è stato aggiunto uno spazio di accesso e di filtro tra la città e la scuola, che permette un più graduale passaggio tra spazio pubblico e privato<sup>9</sup>.

Lo spazio di mezzo tra l'esterno e l'interno, l'in-between, non deve essere trascurato poiché rappresenta il luogo per il benvenuto e l'arrivederci: la concretizzazione della soglia è quindi la traduzione in termini architettonici dell'ospitalità. Inoltre, la soglia, come elemento costruito, è importante per i contatti sociali, quanto le pareti lo sono per la privacy, questo luogo di

---

<sup>6</sup> *Ibidem*, p. 12.

<sup>7</sup> *Ibidem*, p. 25.

<sup>8</sup> *Arie Gottfried*, *L'edilizia scolastica, universitaria e per la ricerca - Quaderni del Manuale di progettazione edilizia*, Hoepli, p. 3.

<sup>9</sup> *Alessandra Capanna*, *Edifici per la scuola-Quaderni di architettura dell'ANCE*, EdilStampa, p. 25.

transizione e di connessione fra aree a differente vocazione costituisce la condizione spaziale per l'incontro e il dialogo<sup>10</sup>.

Nello specifico, l'ingresso di una scuola primaria non dovrebbe essere solo una semplice apertura attraverso la quale i bambini entrano ed escono all'inizio e alla fine delle lezioni, ma piuttosto un luogo in grado di accogliere chi arriva in anticipo e di consentire una piacevole sosta al termine delle lezioni.

Bisognerebbe prevedere alcune sedute e spazi riparati, l'ideale sarebbe ricavare un'area coperta che permetta di proteggersi dalle intemperie, poiché questo luogo è frequentato anche dai genitori che, quando accompagnano o aspettano i loro bambini, hanno l'opportunità di conoscersi fra loro. Questo spazio pubblico, punto d'incontro di persone con interessi comuni, ha quindi un'importante funzione sociale<sup>11</sup>.

L'intorno dell'edificio deve essere curato e reso il più possibile invitante, occorre evitare che gli spazi intorno all'ingresso diventino angoli bui in cui possano accumularsi sporcizie. Il progettista non dovrebbe lasciare alcun pertugio o angolo "inabitabile" perché ciò non servirebbe a nessuno scopo, piuttosto dovrebbe aumentare la funzionalità del progetto tenendo costantemente conto dello spazio intermedio. Dovrebbe cercare di aggiungere spazio di qualità nei luoghi fra le cose, pensando di più in termini di ambiti spaziali anziché bidimensionali<sup>12</sup>.

Non si tratta di arricchire il progetto (il pericolo di appendici superflue e di generare confusione è sempre presente), ma il contenuto. Incrementare la capacità di sedere o di poggiare le cose, porta ad avere un valore aggiunto, poiché produce vantaggi per gli utenti<sup>13</sup>.

Un presupposto della creazione di una forma invitante è l'empatia, cioè il modo in cui l'ospitalità si basa sull'anticipazione dei desideri del proprio ospite. Aumentare il "potenziale ad accomodare" porta a una maggiore adattabilità di ciò che è richiesto a una forma. Una forma che sia più orientata verso i bisogni

---

<sup>10</sup> *Herman Hertzberger, Lezioni di architettura-Guide per progettare*, Editori Laterza, pp. 26 e 29.

<sup>11</sup> *Ibidem*, p. 27.

<sup>12</sup> *Ibidem*, pp. 180 e 182.

<sup>13</sup> *Ibidem*, p. 182.

delle persone nelle varie situazioni e che conseguentemente abbia da offrire di più<sup>14</sup>. Come sostiene Hertzberger, *“ogni tipo di gradino o di ripiano nei pressi dell’entrata di una scuola diventa per i bambini un posto a sedere, specialmente quando vi è un’invitante colonna che offre protezione e contro cui ci si può appoggiare. Far ciò significa generare delle forme. Ancora una volta osserviamo che la forma genera se stessa e che generare delle forme è più una questione relativa alla capacità di saper ascoltare attentamente quello che uomini e cose vogliono essere, piuttosto che un problema relativo all’invenzione in sé”*<sup>15</sup>.

Predisporre queste zone intermedie richiede spazi ed investimenti adeguati, inoltre la loro funzione può essere difficilmente dimostrata o quantificata, pertanto è richiesto al progettista uno sforzo costante sin dalle fasi iniziali di pianificazione<sup>16</sup>.

Il lavoro degli architetti ha molte ricadute su quello che potrà accadere in uno spazio, poiché sono le condizioni architettoniche e spaziali di un determinato luogo ad incoraggiare o scoraggiare certe forme di uso. Le decisioni dei progettisti quindi, anche solo per quanto concerne le dimensioni, sono così importanti da determinare ciò per cui è adatto lo spazio<sup>17</sup>.

L’articolazione di uno spazio - scrive Hertzberger - è un fattore decisivo: determinerà in misura rilevante se lo spazio, ad esempio, sarà adatto a un solo grande gruppo di persone o a un certo numero di piccoli gruppi. Quanto più lo spazio sarà articolato, più piccola sarà l’unità spaziale minima<sup>18</sup>.

L’aumentare dei “centri di attenzione” provocherà un’enfasi sull’individualità delle singole unità, in questo modo diversi gruppi di persone potranno svolgere contemporaneamente parecchie attività. Nonostante ciò, nulla impedisce ad un solo gruppo centrale di fruire di uno spazio articolato, così come un grande spazio inarticolato può essere utilizzato per impieghi differenti nello stesso momento<sup>19</sup>.

---

<sup>14</sup> *Ibidem*, p. 182.

<sup>15</sup> *Herman Hertzberger*, “Forum”, 3, 1983.

<sup>16</sup> *Herman Hertzberger*, *Lezioni di architettura – Guide per progettare*, Editori Laterza p. 29.

<sup>17</sup> *Ibidem*, p. 186.

<sup>18</sup> *Ibidem*, pp. 187 e 188.

<sup>19</sup> *Ibidem*, p. 188.

*“L’articolazione porta a un’espansione della capacità e a una miglior resa del materiale architettonico a disposizione. (...) A tutte le cose dovrebbe essere data la giusta dimensione. Le giuste dimensioni sono quelle che permettono a una cosa di essere sfruttabile al massimo grado”<sup>20</sup>.*

Lo spazio scolastico dovrebbe essere articolato, ma non frammentato, infatti più lo spazio è articolato in piccole unità, maggiore sarà la necessità di avere una chiara visione complessiva dell’intero. È necessario assicurare un’unità visuale che permetta di assemblare le molte parti di cui l’intero è composto trovando il giusto equilibrio tra l’articolazione e l’intero<sup>21</sup>.

La struttura spaziale dell’edificio scolastico dovrebbe offrire un’organizzazione chiara, assicurare la coesione dell’intero e resistere alle modifiche di contenuto, essere abbastanza stabile da tollerare i cambiamenti senza cambiare se stessa<sup>22</sup>.

In una scuola le molte e diverse situazioni di apprendimento dovrebbero essere collegate fra loro come in una città lo sono il sistema stradale e le piazze, o come nel cervello le diverse aree non fungono da magazzini di conoscenza, ma si aprono una verso l’altra, sviluppando una rete di connessione di conoscenza<sup>23</sup>.

È opportuno che lo spazio scolastico consenta una circolazione assimilabile a quella che avviene in strade e piazze, si superi la netta distinzione tra spazi serventi e serviti e l’articolazione permetta di ottenere spazi di relazione in cui la separazione tra interno ed esterno, privato e pubblico si dissolva, ma non scompaia. I confini non dovrebbero essere eliminati, ma andrebbero resi permeabili, poiché i fruitori, soprattutto se bambini, necessitano di ambienti comunque ben strutturati<sup>24</sup>.

Il progetto della scuola della Romanina<sup>25</sup> ben esemplifica la continuità tra le parti che accolgono diverse esperienze ed attività del percorso formativo; questa “continuità mediata” tra il sistema compositivo costituito da patio-spazio

---

<sup>20</sup> Herman Hertzberger, *Huiswerk voor meer herbegzame vorm*, “Forum”, 3, 1973, pp. 12 e 13.

<sup>21</sup> Herman Hertzberger, *Space and Learning*, 010 Publishers, p. 109.

<sup>22</sup> *Ibidem*, p. 109.

<sup>23</sup> *Ibidem*, p. 111.

<sup>24</sup> Alessandra Capanna, *Edifici per la scuola-Quaderni di architettura dell’ANCE*, EdilStampa p. 33.

<sup>25</sup> Progetto di Herman Hertzberger, Marco Scarpinato – *AutonomeForme: scuola elementare Romanina*, Roma (2005 – 2012).

distributivo-aula-patio esalta il valore della relazione tra le singole esperienze formative e cognitive<sup>26</sup>.

In questo schema a patii, ibrido tra il modello a padiglione e quello a corte, l'unità base è rappresentata dal patio, che è stato progettato per adattarsi al diverso gruppo di studenti ai quali appartiene. Pur trattandosi di un edificio a patio, il richiamo all'immagine della città è presente: la struttura compatta, ma scavata, in questo caso rimanda ad un villaggio mediterraneo con stanze all'aperto<sup>27</sup>.



Fig. 1 – Scuola elementare Romanina, Roma – Fonte: [www.domusweb.it](http://www.domusweb.it)

L'esistenza di un fulcro, di un punto d'incontro, come può essere un ampio spazio centrale o un patio, che funge da elemento di collegamento di diverse aree, è il filo conduttore che lega tutte le scuole di Hertzberger. Si tratta di uno spazio coperto nel quale convergono tutti i percorsi orizzontali che, volendo alludere alla metafora della città, è come una piazza collegata a diverse strade<sup>28</sup>. Uno spazio collettivo circondato da aule consente di creare molte occasioni per

---

<sup>26</sup> *Alessandra Capanna*, Edifici per la scuola-Quaderni di architettura dell'ANCE, EdilStampa p. 33.

<sup>27</sup> *Ibidem*, p. 29.

<sup>28</sup> *Ibidem*, p. 29.

contatti casuali e spontanei tra bambini di età diverse; questo schema, infatti, li induce automaticamente ad andare dalla propria aula verso il centro comune<sup>29</sup>. Una scuola dovrebbe contenere e riflettere la complessità del mondo e la sua ricchezza di aspetti in un ambiente più riparato e protetto, una specie di bastione compatto e limitato, che al tempo stesso racchiude il mondo nel più completo possibile dei modi. Questo luogo, “palestra di vita” per i bambini che si stanno preparando a vivere nella società, guidati e controllati dagli insegnanti, si configura come Micro-City<sup>30</sup>.

Città e scuola sono legate da un rapporto reciproco: la scuola ripropone la struttura della città, ma al tempo stesso, essendo un luogo di istruzione, arricchisce la città e le fornisce un valore aggiunto<sup>31</sup>.

Come in città la strada è più adatta al movimento, mentre la piazza ad indugiare, anche in una scuola sono presenti spazi predisposti per la circolazione ed altri migliori per la sosta, anche se questa distinzione ha perso la rigidità del passato. Le aule restano gli elementi meno aperti di una scuola, assimilabili alle case tra strade e piazze, anche se sono meno isolate ed ermetiche rispetto al passato. La scuola si configura sempre più come un mosaico aperto di attività sovrapposte e mutevoli<sup>32</sup>.

Gli spazi distributivi si sono trasformati: quello che una volta era soltanto uno spazio di passaggio, ora è diventato anche un luogo in cui stare, un’area di apprendimento.

Negli edifici scolastici tradizionali i corridoi generalmente sono luoghi freddi e angusti, attrezzati solo con appendiabiti ai quali sono appese centinaia di giacche, spazi improduttivi che servono solo per accedere alle aule e metterle in connessione. In passato l’architetto considerava come unico spazio di apprendimento l’aula e la rendeva il più grande possibile, riducendo al minimo il resto, corridoi inclusi. Un più efficiente uso degli spazi fu possibile solo quando si decise di rompere questo sistema basato sull’economia degli

---

<sup>29</sup> Herman Hertzberger, *Lezioni di architettura – Guide per progettare*, Editori Laterza, p. 207.

<sup>30</sup> Herman Hertzberger, *Space and Learning*, 010 Publishers, p. 118.

<sup>31</sup> *Ibidem*, p. 128.

<sup>32</sup> *Ibidem*, p. 126.

standard, comprendendo che ogni area in una scuola è un potenziale angolo di apprendimento<sup>33</sup>.

Nei nuovi edifici, i corridoi tradizionali hanno subito una variazione considerevole e finalmente sono diventati degli spazi abitabili, grazie all'inserimento di tavoli e sedute che creano un ambiente adatto al lavoro. I posti di lavoro dovrebbero avere un certo grado di protezione, ma al tempo stesso essere abbastanza aperti per offrire la possibilità a chi li occupa di guardarsi intorno ed essere visto dagli altri<sup>34</sup>.

Il progettista dovrebbe ricercare il giusto equilibrio tra vista e segregazione, attraverso un'organizzazione spaziale che permetta ad ognuno, in tutte le situazioni, di regolare il proprio contatto con gli altri<sup>35</sup>.

Apertura e chiusura possono esistere solo l'una in virtù dell'altra e sono in rapporto dialettico fra loro. L'architetto può realizzare luoghi di separazione o di apertura e determinarne il grado reciproco, assicurare la privacy dove è opportuno senza però restringere troppo lo spettro della visione degli altri, in questi luoghi diventa perciò possibile regolare il contatto che si desidera in una situazione particolare<sup>36</sup>.

Se vengono introdotte differenze di livello si dovrebbe fare anche attenzione all'espansione delle possibilità di contatto visivo poiché coloro che sono in alto guardano coloro che sono in basso, le posizioni reciproche non sono eguali e quindi il progettista dovrebbe avere cura di chi sta "in basso" e garantire loro eguali opportunità di evitare lo sguardo di coloro che sono "più in alto"<sup>37</sup>.

Differenziare gli spazi spetta al progettista che può giocare con spazi aperti, spazi con diversi gradi di apertura e spazi chiusi, tenendo presente le condizioni necessarie all'interno di una scuola. I bambini hanno bisogno talvolta di concentrarsi, altre volte di relazionarsi con gli altri. Sia che lavorino da soli o in gruppo, il grado d'isolamento non deve essere così forte da distruggere l'unità

---

<sup>33</sup> *Ibidem*, pp. 41-46.

<sup>34</sup> *Ibidem*, pp. 41-46.

<sup>35</sup> *Herman Hertzberger*, *Lezioni di architettura – Guide per progettare*, Editori Laterza, p. 196.

<sup>36</sup> *Ibidem*, p. 196.

<sup>37</sup> *Ibidem*, p. 196.

sociale, occorre invece preservare il senso di appartenenza ad una più grande entità, la comunità scolastica<sup>38</sup>.

Le due esigenze fondamentali per i bambini, quella di essere in grado di concentrarsi e quella di poter esplorare, ampliare gli orizzonti, accrescere la curiosità e intessere relazioni, sembrano essere in contrapposizione tra loro. Questo conflitto può essere risolto da un significato spaziale, utilizzando gli elementi base dell'architettura, come ad esempio viste e coperture<sup>39</sup>.

Ci sono spazi, detti introversi o centripeti, che tendono a stimolare la concentrazione, al contrario quelli estroversi o centrifughi invitano a dirigere l'attenzione verso l'esterno<sup>40</sup>.

Avendo di fronte un ventaglio di possibilità, spetta al progettista organizzare lo spazio e differenziarlo. Gli strumenti a sua disposizione sono molteplici: l'introduzione di muri o partizioni permette di separare visualmente e acusticamente gli ambienti, la creazione di vuoti e aperture crea invece nuove connessioni visuali, la presenza di gradini su cui sedersi può favorire la socializzazione. Inoltre anche l'aggiunta di elementi autonomi come angoli lettura o cucina, la differenziazione delle altezze creando cavità o isole, la variazione dell'altezza pavimento-soffitto e l'attenzione alla luce naturale o artificiale, all'acustica e ai materiali da utilizzare, sono tutti aspetti che influiscono sulla percezione dello spazio<sup>41</sup>.

Angoli cucina, piani per computer o librerie spesso sono attaccati alle pareti o inseriti nelle pareti in modo da occupare meno spazio possibile. Se sono disposti liberamente nello spazio diventano isole. Questi elementi hanno un effetto magnetico e diventano fulcri di attività, rendono lo spazio allo stesso tempo più piccolo e più grande, poiché l'area effettiva della zona si riduce, ma la panoramica si amplia<sup>42</sup>.

Altri luoghi che fungono da poli attrattori sono le gradinate, progettate al posto delle scale. Le gradinate definiscono un'area di transizione, possono aprire

---

<sup>38</sup> *Herman Hertzberger*, *Space and Learning*, 010 Publishers, p. 80.

<sup>39</sup> *Ibidem*, p. 80.

<sup>40</sup> *Ibidem*, p. 81.

<sup>41</sup> *Ibidem*, pp. 83-84.

<sup>42</sup> *Ibidem*, pp. 88-90.



nuove viste e al tempo stesso offrire protezione e diventano punti di ritrovo per i bambini. Ogni gradino può essere utilizzato come piano di lavoro su cui è possibile sedersi o svolgere diverse attività<sup>43</sup>.

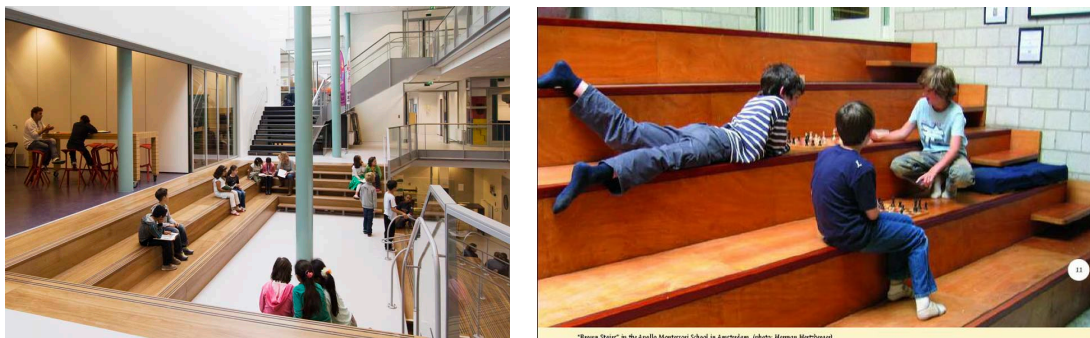


Fig. 2 e Fig. 3 – Apollo Montessori School, Amsterdam – Photo: Herman Hertzberger

Sottoscala, nicchie protette, gradinate, aree incavate o sopraelevate incuriosiscono i bambini che li scelgono come luoghi per i loro giochi.

A Delft, nella Montessori School, nel punto centrale della hall, si trova una piattaforma permanente costituita da mattoni, che contribuisce all'articolazione dello spazio ed offre un ampio ventaglio di possibilità d'uso, può essere perfino estesa per diventare un palco per spettacoli teatrali. Nella stessa scuola, è presente anche una cavità quadrata piena di blocchi di legno che possono essere facilmente spostati ed utilizzati come sedute o per formare delle costruzioni<sup>44</sup>.

Le due zone pur essendo molto diverse, non sono opposte, ma complementari. La prima sembra essere un'isola nel mare, la seconda un lago. La piattaforma permanente evoca immagini di colline e montagne da scalare e raggiungere, la cavità dà un senso di ritiro ed isolamento<sup>45</sup>.

---

<sup>43</sup> *Ibidem*, pp. 85-86.

<sup>44</sup> *Ibidem*, pp. 93 e 98.

<sup>45</sup> *Ibidem*, pp. 93 e 98.

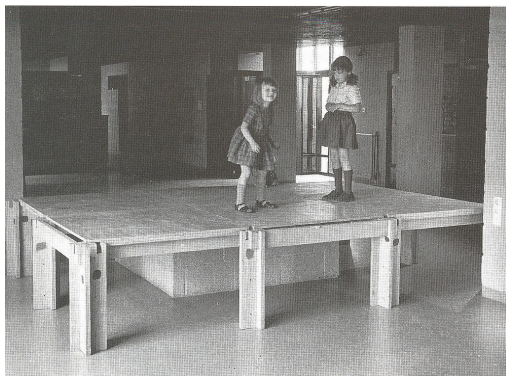


Fig. 4 e Fig. 5 – Montessori School, Delft – Photo: Herman Hertzberger

I bambini devono potersi sentire a proprio agio a scuola, in un ambiente di qualità che favorisca lo sviluppo e la formazione. L'ambiente dovrebbe essere al tempo stesso stimolante e familiare, due aspetti che comunque non sono in contraddizione. La sfida è quella di riuscire a progettare una scuola moderna simile da una parte alla città, che offre stimoli, dall'altra alla casa, luogo sicuro. In altre parole una scuola deve essere come una città nella quale ci si può sentire a casa<sup>46</sup>.

È questo l'obiettivo che si sta cercando di raggiungere da quando l'aula, a partire dalla seconda metà del ventesimo secolo, ha smesso di essere considerata uno spazio autonomo e di esplicito dominio dell'insegnante, grazie alle innovative idee di educazione che circolavano già all'epoca<sup>47</sup>.

Le aule inarticolate e rettangolari favorivano il trasferimento unidirezionale di conoscenze e "appartenevano" all'insegnante, gli studenti erano solo visitatori, invece le aule organizzate in maniera articolata offrono più possibilità di apprendimento differenziato<sup>48</sup>.

Nella scuola elementare i bambini hanno bisogno di qualcosa di permanente in cui ritirarsi, non cercano solo la protezione di un insegnante, ma soprattutto un ambiente che sia ben identificabile e familiare. Questo luogo dovrebbe essere un "nido" da cui si può andare e tornare ed in cui si possono lasciare le proprie cose con la certezza di ritrovarle<sup>49</sup>.

---

<sup>46</sup> *Ibidem*, pp. 101-108.

<sup>47</sup> *Ibidem*, p. 23.

<sup>48</sup> *Ibidem*, p. 24.

<sup>49</sup> *Ibidem*, p. 35.

Proprio perché il dominio di un particolare gruppo di persone deve essere rispettato il più possibile da coloro che non ne fanno parte, bisogna tenere in considerazione i rischi che possono derivare da un uso multi-funzionale degli spazi<sup>50</sup>.

Il “nido sicuro” è realizzato nella scuola Montessori di Delft, qui i bambini tengono in ordine il proprio spazio e svolgono quotidianamente alcune “faccende domestiche”, in questo modo si abitano ad avere cura del luogo in cui vivono ogni giorno e a rinforzare la loro affinità emozionale con il contesto che li circonda<sup>51</sup>.

Un altro modo per far percepire la scuola come “casa” è quello di arricchire il luogo con i lavoretti realizzati dai bambini; nella scuola Apollo<sup>52</sup> “davanzali, mensole e ripiani in una classe offrono l’opportunità di poter esporre i numerosi lavori manuali dei bambini. Questo tipo di predisposizione favorisce l’appropriazione dello spazio da parte del bambino e lo fa sentire a casa propria”<sup>53</sup>.

Nella scuola Montessori di Delft le aule furono progettate ciascuna con il proprio guardaroba al posto degli attaccapanni comuni in corridoio. Per incrementare il senso di responsabilità dei bambini, l’aula disponeva inoltre di servizi igienici propri, collocati tra la classe e corridoio<sup>54</sup>.

La richiesta di maggior apertura e di spazio anche fuori dall’aula, dovuta alle modifiche delle esigenze didattiche, portò ad una trasformazione dell’area di connessione tra la classe e il corridoio. Questa zona di *in-between*, se adeguatamente progettata, oltre ad offrire una transizione graduale tra aree differenti, diventa più uno spazio articolato che una chiusura<sup>55</sup>.

Nonostante questo spazio possa sottrarre metri quadrati alla superficie dell’aula, in realtà contribuisce a rendere tutto più ampio, poiché può essere attrezzato con postazioni computer o tavolini e quindi essere sfruttato dai bambini come nuovo spazio di apprendimento. Lo spazio all’interno della scuola

---

<sup>50</sup> Herman Hertzberger, *Lezioni di architettura – Guide per progettare*, Editori Laterza p. 22.

<sup>51</sup> *Ibidem*, p. 22.

<sup>52</sup> Progetto di Herman Hertzberger, *Scuola Apollo ad Amsterdam (1980-1983)*.

<sup>53</sup> Herman Hertzberger, “Forum”, 3, 1983.

<sup>54</sup> Herman Hertzberger, *Space and Learning*, 010 Publishers, p. 38.

<sup>55</sup> *Ibidem*, p. 49.

è diventato sempre più articolato e in queste nuove zone si può lavorare da soli o in gruppo, senza disturbare gli altri, ma sentendone comunque la presenza<sup>56</sup>.

Si sono sperimentate anche forme di maggiore apertura, arrivando alle “open school”, in cui ciascun piano può essere diviso liberamente con partizioni leggere che possono essere spostate all’occorrenza. Uno spazio di questo tipo possiede alcune somiglianze con le aule Montessori, ma è molto più grande e vi è un flusso continuo di insegnanti, materie ed idee. È stato criticato poiché molti ritengono che per alcuni bambini non sia l’ambiente migliore per imparare<sup>57</sup>.

Dai numerosi spazi isolati si è passati ad avere molti più ambienti pubblici e sociali, si è assistito ad un ampliamento di prospettive, che ha portato all’evoluzione dell’aula tradizionale, da “bastione” per l’istruzione ad aula “casa”, sviluppatasi in tappe successive:

- differenziazione dell’aula rettangolare e conseguente aumento del numero di angoli, nicchie e spazi accessori;
- aggiunta di una zona soglia tra l’aula e il corridoio, che può essere usata anche per ampliare lo spazio di apprendimento;
- l’aula diventa una “home base” e parecchie attività sono tenute anche in altri luoghi della scuola;
- le aule possono ridursi fino a scomparire del tutto<sup>58</sup>.

Con la scomparsa delle aule a favore della sperimentazione di “open space” è ancora più sentita la necessità di una “home base”, perché non tutti i bambini riescono a stare soli in un mondo pieno di sfide, sorprese e opportunità senza avere un’unità più piccola, riconoscibile e familiare, che li accolga<sup>59</sup>.

Come le aule erano spazi autonomi e isolati, anche i cortili tradizionali erano sistemi chiusi, in genere definiti da una superficie pavimentata davanti o dietro all’edificio scolastico, senza legami con l’ambiente circostante. Nei cortili i bambini dovrebbero entrare in contatto e socializzare: nella progettazione è necessario creare le condizioni spaziali per incoraggiare questo approccio<sup>60</sup>.

---

<sup>56</sup> *Ibidem*, p. 49.

<sup>57</sup> *Ibidem*, pp. 57 e 58.

<sup>58</sup> *Ibidem*, p. 36.

<sup>59</sup> *Ibidem*, p. 36.

<sup>60</sup> *Ibidem*, pp. 178-180.

Con il passare del tempo il cortile recintato o isolato è stato dismesso e la scuola è stata maggiormente integrata all'interno del quartiere e della città. Alcuni esempi di spazi esterni attrezzati in modo innovativo con zone protette e per il gioco si trovano nella De Polygon Primary School ad Almere e nella De Vogels Primary School a Oegstgeest, dove sono presenti rispettivamente una seduta circolare riparata e una grande terrazza che può essere utilizzata per giocare e protegge l'ingresso della scuola<sup>61</sup>.



Fig. 6 e Fig. 7 – De Polygon Primary School, Almere e De Vogels Primary School, Oegstgeest  
Photo: Herman Hertzberger

Come è stato detto precedentemente, la scuola può presentarsi come una micro-city, integrata nella città. La scuola non finisce dove finiscono i suoi muri; c'è la possibilità di continuare ad imparare e non solo il tempo trascorso a scuola definisce il proprio sviluppo, che continua durante la vita. Per questo motivo gli architetti dovrebbero convertire gli spazi pubblici presenti in città in spazi sociali e dedicare più aree della città ai bambini.

## 1.2 La sicurezza del patrimonio edilizio scolastico italiano

Le condizioni del patrimonio edilizio scolastico italiano per quanto riguarda gli aspetti legati alla sicurezza strutturale non sono omogenee, infatti, nonostante si possano incontrare sul nostro territorio anche alcuni esempi di eccellenze, resta una forte sperequazione tra nord e sud del Paese<sup>62</sup>.

---

<sup>61</sup> *Ibidem*, pp. 192 e 193.

<sup>62</sup> *Angela Silvia Pavesi e Giulia Zanata*, *Edilizia scolastica pubblica – Strumenti per la rigenerazione del patrimonio scolastico in Italia*, Maggioli Editore pp. 9 e 12.

In generale l'Italia, per quanto riguarda la situazione dell'edilizia scolastica, versa in uno stato di vera e propria emergenza nazionale: i finanziamenti da parte dello Stato sono esigui ed insufficienti, a fronte comunque di un bisogno che è difficilmente individuabile e quantificabile, poiché è a lungo mancata una mappatura completa degli edifici scolastici esistenti e delle loro criticità<sup>63</sup>.

La conoscenza degli edifici è fondamentale se si vuole mettere in atto un programma di riqualificazione per la messa in sicurezza, la bonifica e la sostenibilità delle strutture che abbia una prospettiva a lungo termine, superando così la prassi "dell'intervento di emergenza"<sup>64</sup>.

Alcuni enti e associazioni, come Legambiente, hanno sopperito alla necessità di un quadro dettagliato sull'edilizia scolastica e hanno avviato un'indagine, a cadenza annuale, denominata "Ecosistema scuola", giunta nel 2015 alla sedicesima edizione.

Recentemente il governo ha pubblicato i primi dati dell'Anagrafe scolastica, istituita nel 1996 con la legge Masini, che dovrebbe essere portata a compimento a gennaio del 2016. I dati resi noti sono ancora incompleti e disomogenei: la raccolta è stata svolta adottando differenti metodi e non è avvenuta contemporaneamente su tutto il territorio nazionale<sup>65</sup>.

Tuttavia è stato messo ordine fra le diverse fonti di finanziamento destinate all'edilizia scolastica, che ora confluiscono in un unico fondo<sup>66</sup> di circa 4 miliardi di euro. Gli interventi nel 2016 saranno esclusi dal vincolo del patto di stabilità e questo potrà convincere i soggetti proprietari a tornare ad investire. Nel complesso quindi, sembra che nel Paese stia aumentando l'attenzione verso la qualità dell'edilizia scolastica<sup>67</sup>.

---

<sup>63</sup> *Ibidem*, p. 17.

<sup>64</sup> *Ibidem*, p. 18.

<sup>65</sup> Ecosistema Scuola XVI Rapporto di Legambiente sulla qualità dell'edilizia scolastica, delle strutture e dei servizi, p. 3.

<sup>66</sup> D.L. 179/2012.

<sup>67</sup> Ecosistema Scuola XVI Rapporto di Legambiente sulla qualità dell'edilizia scolastica, delle strutture e dei servizi, p. 4.

Quest'anno le scuole che necessitano di un intervento urgente sono il 39,1% rispetto al 32,5% dell'anno scorso, incremento allarmante, ma probabilmente dovuto ad un migliore e più puntuale monitoraggio degli edifici<sup>68</sup>.

Il divario storico tra nord e sud per qualità degli edifici si mantiene ampio: al sud 1 edificio su 2 ha bisogno di un intervento di manutenzione urgente contro una media di 1 edificio su 3 al nord e al centro, inoltre al sud e nelle isole nemmeno una scuola è costruita secondo i criteri della bioedilizia e pochissimi sono gli edifici che utilizzano fonti di illuminazione a basso consumo. Una certa sperequazione è presente anche fra città della stessa regione e può essere in larga parte dovuta all'incapacità di alcune amministrazioni di accedere ai finanziamenti e di organizzare il monitoraggio e la programmazione degli interventi<sup>69</sup>.

Purtroppo dall'indagine si evince che i principali servizi messi a disposizione dalle scuole, il trasporto e la mensa, stanno gradualmente peggiorando in termini di qualità e sostenibilità. La presenza del servizio di scuolabus è diminuita, nei pressi delle scuole mancano piste ciclabili e attraversamenti pedonali e per il tragitto casa-scuola le famiglie fanno sempre più affidamento ai mezzi privati; il numero di mense in cui sono serviti pasti biologici e acqua del rubinetto si è ridotto rispetto agli anni precedenti<sup>70</sup>.

Di seguito si riportano alcune tabelle tratte dall'indagine "Ecosistema Scuola" e presenti nel XVI Rapporto di Legambiente sulla qualità dell'edilizia scolastica, delle strutture e dei servizi. I dati sono riferiti all'anno 2014 e sono stati raccolti tramite questionari, l'indagine ha coinvolto 96 Comuni per un totale di 6332 edifici.

<b>ANNO DI REALIZZAZIONE EDIFICI SCOLASTICI</b>	
prima del 1900	6,3%
tra il 1900 e il 1940	14,2%
tra il 1941 e il 1974	44,8%
tra il 1975 e il 1990	25,4%

---

<sup>68</sup> *Ibidem*, p. 4.

<sup>69</sup> *Ibidem*, pp. 5 e 6.

<sup>70</sup> *Ibidem*, p. 6.

tra il 1991 e il 2000	4,8%
tra il 2001 e il 2014	4,5%

Fonte: "Ecosistema Scuola" XVI Rapporto di Legambiente

<b>CERTIFICAZIONI</b>	<b>ANNO 2010*</b>	<b>ANNO 2011*</b>	<b>ANNO 2012*</b>	<b>ANNO 2013*</b>	<b>ANNO 2014*</b>
collaudo statico	51,1%	50,4%	52,4%	53,0%	50,4%
idoneità	52,6%	51,6%	54,2%	42,1%	50,6%
agibilità	54,1%	58,1%	61,2%	53,1%	59,7%
agibilità igienico-sanitaria	68,8%	71,9%	73,8%	58,1%	72,7%
prevenzione incendi	34,8%	34,5%	35,9%	30,9%	35,5%
scale di sicurezza	53,2%	54,0%	54,5%	53,7%	54,6%
porte antipanico	88,6%	90,7%	90,2%	96,8%	92,2%
prove di evacuazione	93,1%	97,9%	94,4%	98,3%	96,1%
impianti elettrici a norma	77,6%	82,4%	83,4%	83,9%	80,2%
<b>* anno di riferimento dati</b>					

Fonte: "Ecosistema Scuola" XVI Rapporto di Legambiente

<b>ACCESSIBILITÀ</b>	<b>ANNO 2010*</b>	<b>ANNO 2011*</b>	<b>ANNO 2012*</b>	<b>ANNO 2013*</b>	<b>ANNO 2014*</b>
requisiti in materia di accessibilità	79,0%	82,2%	82,3%	84,0%	81,4%
interventi previsti per eliminazione barriere architettoniche	16,6%	14,5%	16,4%	8,7%	3,8%
<b>* anno di riferimento dati</b>					

Fonte: "Ecosistema Scuola" XVI Rapporto di Legambiente

<b>INVESTIMENTI</b>	<b>Totale Investimenti (€) 2010*</b>	<b>Totale Investimenti (€) 2011*</b>	<b>Totale Investimenti (€) 2012*</b>	<b>Totale Investimenti (€) 2013*</b>	<b>Totale Investimenti (€) 2014*</b>
manutenzione straordinaria	179.642.866	168.361.086	127.062.773	105.683.169	163.819.638
manutenzione ordinaria	45.576.021	47.662.389	39.582.705	30.845.442	37.022.709
<b>* anno di riferimento dati</b>					

Fonte: "Ecosistema Scuola" XVI Rapporto di Legambiente

<b>MANUTENZIONE</b>	<b>ANNO 2010*</b>	<b>ANNO 2011*</b>	<b>ANNO 2012*</b>	<b>ANNO 2013*</b>	<b>ANNO 2014*</b>
edifici che necessitano di interventi di manutenzione	36,5%	35,8%	37,6%	32,5%	39,1%



urgente					
edifici che hanno goduto di manutenzione straordinaria negli ultimi 5 anni	55,2%	56,4%	56,2%	47,7%	49,3%
* anno di riferimento dati					

Fonte: "Ecosistema Scuola" XVI Rapporto di Legambiente

<b>MENSE SCOLASTICHE</b>	<b>ANNO 2010*</b>	<b>ANNO 2011*</b>	<b>ANNO 2012*</b>	<b>ANNO 2013*</b>	<b>ANNO 2014*</b>
pasti interamente biologici	5,9%	6,0%	8,5%	4,8%	5,3%
prodotti biologici nei pasti	52,4%	56,3%	56,9%	53,7%	51,3%
utilizzano piatti plastica/carta	29,2%	34,9%	34,0%	35,2%	34,3%
utilizzano piatti in mater-bi	5,0%	7,0%	5,5%	10,4%	7,5%
utilizzano piatti in porcellana	43,3%	56,2%	39,7%	39,0%	33,5%
utilizzano piatti in melamina			8,8%	12,8%	30,2%
cucina interna alla scuola	21,5%	29,3%	22,3%	28,9%	22,5%
acqua di rubinetto	70,8%	62,9%	50,1%	65,1%	55,9%
* anno di riferimento dati					

Fonte: "Ecosistema Scuola" XVI Rapporto di Legambiente

<b>PRESENZA DI SERVIZI PER LA SCUOLA</b>	<b>ANNO 2010*</b>	<b>ANNO 2011*</b>	<b>ANNO 2012*</b>	<b>ANNO 2013*</b>	<b>ANNO 2014*</b>
scuolabus	32,6%	25,9%	30,0%	22,5%	25,8%
pedibus o percorsi casa-scuola	5,0%	5,0%	6,9%	5,2%	5,9%
aree di sosta per le auto	53,7%	53,7%	50,1%	48,9%	50,2%
attraversamenti pedonali	64,0%	65,4%	75,5%	62,9%	55,1%
semafori pedonali	4,8%	6,1%	6,0%	4,2%	4,2%
nonni vigili	17,5%	21,1%	23,0%	16,6%	18,1%
piste ciclabili	9,4%	10,5%	12,6%	8,6%	9,5%
transenne parapetonali	6,8%	13,5%	14,1%	8,5%	7,1%
* anno di riferimento dati					

Fonte: "Ecosistema Scuola" XVI Rapporto di Legambiente

Da sottolineare il dato relativo all'anno di realizzazione degli edifici scolastici da cui si evince che il patrimonio edilizio italiano è piuttosto vetusto, pochi sono gli edifici di nuova costruzione del recente ventennio (meno del 10% del totale) e circa il 65% degli edifici è stato costruito prima dell'entrata in vigore della norma antisismica del 1974. In quasi il 50% degli edifici mancano il certificato di collaudo statico e di idoneità statica, in circa il 40% dei casi il certificato di

agibilità. Per quanto riguarda l'accessibilità, sono diminuiti notevolmente gli interventi per l'eliminazione delle barriere architettoniche.

Dal "XIII Rapporto Sicurezza, qualità, accessibilità a scuola" di Cittadinanzattiva, che fa riferimento al monitoraggio di 101 edifici in 13 regioni diverse, si osserva che il 39% degli edifici esaminati ha uno stato di manutenzione mediocre o pessimo ed 1 scuola su 5 presenta lesioni strutturali, principalmente sulla facciata, ma anche nei corridoi e nelle palestre, mentre il 15% delle aule presenta distacchi di intonaco o segni di fatiscenza<sup>71</sup>.

Su tutto il territorio italiano Cittadinanzattiva durante l'anno scolastico 2014/15 ha contato 45 casi di crolli in scuole di ogni ordine e grado, alcuni prevedibili altri totalmente inaspettati. Quello che ha destato più scalpore si è verificato nella scuola elementare Pessina di Ostuni (BR): inaugurata a gennaio 2015 dopo appena tre mesi ha subito il crollo di un solaio di un'aula, che ha provocato il ferimento di due bambini e una maestra<sup>72</sup>.

Di seguito si riporta una tabella tratta dal XIII Rapporto di Cittadinanzattiva sullo stato di salute e la sicurezza degli edifici scolastici.

<b>LO STATO DI ...</b>	<b>AULE</b>	<b>MENSE</b>	<b>PALESTRE</b>
distacchi di intonaco	15%	12%	27%
segni di fatiscenza	16%	12%	23%
porte anti-panico	74%	53%	63%
barriere architettoniche	17%	6%	12%
finestre non integre	23%	20%	7%
pavimenti difformi	8%	14%	23%
fili elettrici scoperti	6%	6%	2%
cavi volanti	17%	-	5%
ottimo livello di aerazione	30%	29%	33%
ottimo livello di temperatura	11%	8%	10%
ottimo livello di illuminazione	26%	27%	23%
ottimo livello di pulizia	13%	19%	14%

Fonte: Cittadinanzattiva 2015

<sup>71</sup> XIII Rapporto sicurezza, qualità, accessibilità a scuola – Cittadinanzattiva, p. 1.

<sup>72</sup> *Ibidem*, p. 1.

### **1.2.1 La sicurezza sismica delle scuole italiane**

Il rischio sismico è determinato dalla combinazione di tre fattori: pericolosità, vulnerabilità ed esposizione e offre una misura dei danni attesi in un dato intervallo di tempo, considerata la sismicità del luogo, la resistenza delle costruzioni presenti e la quantità di beni e persone esposte al rischio.

In quest'ottica occorre fare molta attenzione alla progettazione strutturale delle scuole, innanzitutto perché si tratta di edifici con un'elevata esposizione, in secondo luogo perché la loro efficienza funzionale è strategica per la gestione delle emergenze<sup>73</sup>.

#### **1.2.1.1 Storia della normativa sismica**

La definizione di una mappa di pericolosità sismica del territorio italiano ha subito nel corso dell'ultimo secolo una lunga e profonda evoluzione.

La prima zonazione sismica risale al 1908, in seguito al terremoto di Messina, quando fu classificata in zona sismica solo l'area danneggiata da quel sisma e furono emanate le prime norme, considerate all'avanguardia per l'epoca. Infatti, sebbene i principi ispiratori di queste norme fossero basati sull'osservazione di un fenomeno singolo e degli edifici rimasti indenni dopo il terremoto, per la prima volta la progettazione doveva tenere in considerazione non solo i carichi verticali, ma anche le azioni orizzontali ed era ammesso un danneggiamento della struttura, che rispondeva con un comportamento non lineare ai terremoti di intensità maggiore<sup>74</sup>.

Fino al 1980 furono presi provvedimenti analoghi, basati sugli eventi sismici registrati, che portarono a definire circa il 25% del territorio italiano come sismico. In seguito, dopo il terremoto dell'Irpinia, furono adottati per la zonazione criteri più razionali, fu preso in considerazione uno storico di diversi secoli e si arrivò a classificare il 45% del territorio nazionale in tre diverse categorie sismiche<sup>75</sup>.

---

<sup>73</sup> *Angela Silvia Pavesi e Giulia Zanata*, Edilizia scolastica pubblica – Strumenti per la rigenerazione del patrimonio scolastico in Italia, Maggioli Editore p. 100.

<sup>74</sup> *Ibidem*, pp. 102 e 103.

<sup>75</sup> *Mauro Dolce*, La sicurezza sismica delle scuole italiane, p. 3.

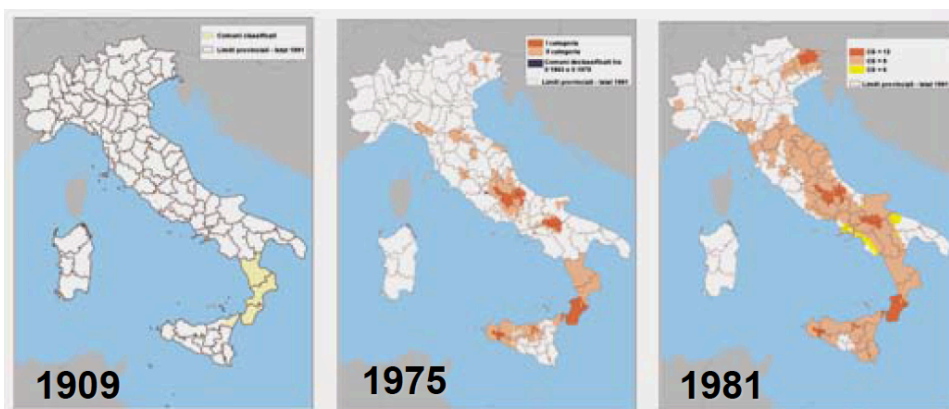
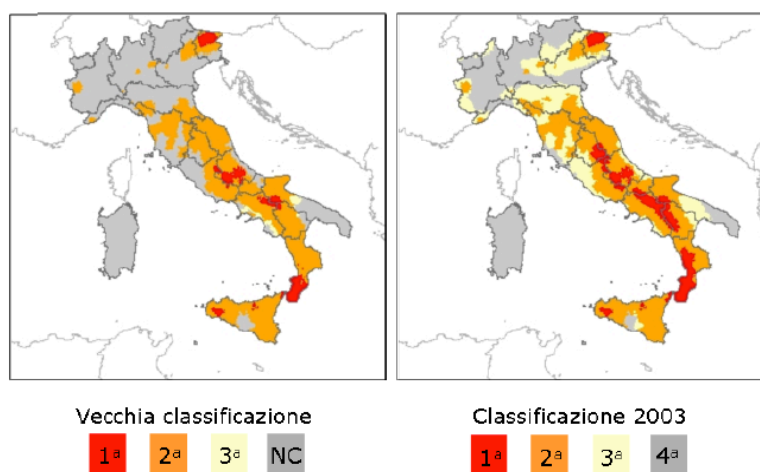


Fig. 8 – Classificazione sismica del territorio italiano – Fonte: Presidenza del Consiglio dei Ministri, Dipartimento della Protezione Civile

Sebbene dal 1974 la classificazione sismica dovesse essere realizzata per legge<sup>76</sup> sulla base di motivazioni tecniche-scientifiche, per un periodo la normativa non è stata aggiornata seguendo i progressi delle ricerche teoriche e sperimentali sulla progettazione sismica. I miglioramenti sono stati apportati solo nel 2003 tramite ordinanza<sup>77</sup>: tutto il territorio italiano fu suddiviso in 4 zone, caratterizzate da pericolosità sismica decrescente e vennero emanati i nuovi criteri di classificazione basati sull'analisi probabilistica che il territorio sia interessato in un certo periodo da un evento che superi una determinata soglia di intensità<sup>78</sup>.



<sup>76</sup> Legge n.64 del 2 febbraio 1974 “Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche”.

<sup>77</sup> OPCM n. 3247 del 20 marzo 2003 “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”.

<sup>78</sup> *I Rapporto ANCE/CRESME, Lo stato del territorio italiano 2012 – Insediamento e rischio sismico e idrogeologico*, p. 54.

Nel 2006 la normativa relativa ai criteri per la determinazione della pericolosità sismica viene nuovamente aggiornata. Nella nuova mappa nazionale il territorio è suddiviso in 12 fasce, a seconda di intervalli di accelerazione con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni<sup>79</sup>.

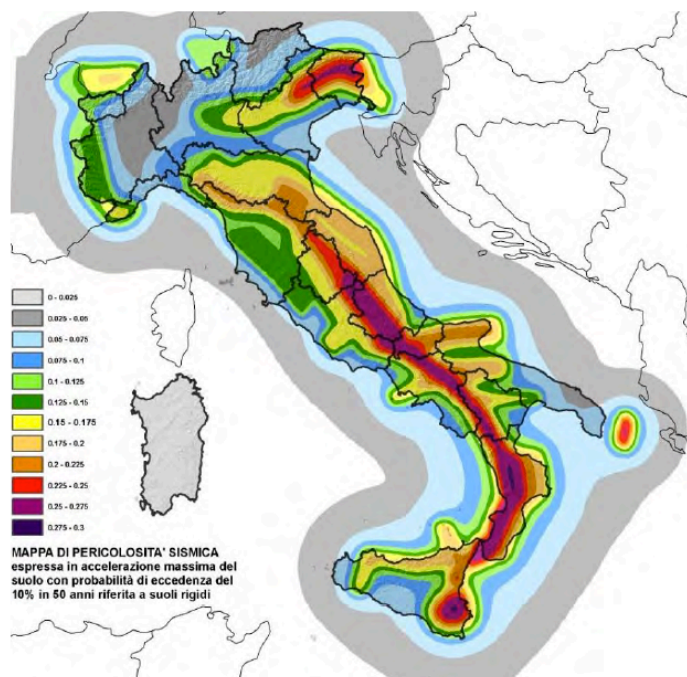


Fig. 9 – Mappa della pericolosità sismica – Fonte: Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

### 1.2.1.2 Vulnerabilità al sisma degli edifici scolastici italiani

I recenti eventi sismici hanno dimostrato più volte che il patrimonio edilizio scolastico del nostro Paese non è sicuro dal punto di vista strutturale: spesso la qualità dei materiali impiegati nella costruzione è scarsa e manca una regolare manutenzione. Per migliorare la conoscenza della vulnerabilità sismica degli edifici strategici sono state avviate diverse campagne di censimento, come il progetto LSU (Lavori Socialmente Utili) del 1996 che portò a rilevare 20.420 edifici scolastici e il SAVE (Strumenti Aggiornati per la Vulnerabilità sismica del patrimonio Edilizio) mirato ad individuare le caratteristiche tipologiche delle strutture strategiche<sup>80</sup>.

<sup>79</sup> OPCM n. 3519 del 28 aprile 2006 “Criteri generali per l’individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l’aggiornamento degli elenchi delle medesime zone”.

<sup>80</sup> *Angela Silvia Pavesi e Giulia Zanata*, Edilizia scolastica pubblica – Strumenti per la rigenerazione del patrimonio scolastico in Italia, Maggioli Editore pp. 100 e 101.

Il rischio di collasso degli edifici scolastici a seguito di terremoti violenti e il rischio di danno con terremoti d'intensità moderata è alto, comparando infatti l'età degli edifici con l'evoluzione della normativa e della classificazione sismica italiana si può dedurre che una buona parte di essi siano stati costruiti senza considerare l'azione sismica in zone che successivamente sono state riconosciute a rischio<sup>81</sup>.

Dai dati del progetto LSU, che prende in considerazione gli edifici scolastici presenti in Italia meridionale, si evince che il 70% degli edifici in CA e il 95% di quelli in muratura sono stati costruiti prima del 1980, quindi senza criteri antisismici. Inoltre dall'indagine "Ecosistema Scuola" emerge che meno del 10% degli edifici è stato realizzato secondo criteri antisismici e solo 1 edificio su 4 ha eseguito la verifica di vulnerabilità, quest'ultimo dato desta preoccupazione poiché rimane pressoché invariato anche se circoscritto agli edifici dei Comuni a rischio sismico elevato.

<b>EFFICIENZA E SICUREZZA</b>	<b>ANNO 2010*</b>	<b>ANNO 2011*</b>	<b>ANNO 2012*</b>	<b>ANNO 2013*</b>	<b>ANNO 2014*</b>
edifici costruiti secondo criteri di bioedilizia	0,4%	0,7%	0,6%	0,6%	0,6%
edifici costruiti secondo criteri antisismici	10,3%	8,2%	8,8%	7,8%	8,7%
edifici in cui è stata eseguita la verifica di vulnerabilità sismica	24,8%	27,5%	27,3%	22,2%	25,1%
edifici in cui è stata eseguita la verifica di vulnerabilità antisismica tra i comuni a rischio sismico (zona 1 e 2)		32,4%	21,1%	14,3%	26,8%
* anno di riferimento dati					

Fonte: "Ecosistema Scuola" XVI Rapporto di Legambiente

L'attenzione sulla sicurezza sismica degli edifici scolastici è aumentata notevolmente a seguito del tragico evento che ha colpito il Molise nel 2002 ed ha provocato il crollo della scuola "Iovine" a San Giuliano di Puglia, causando la morte di 27 bambini e una maestra.

<sup>81</sup> *Ibidem*, p. 104.

I fattori che portarono al collasso dell'edificio sono diversi e molteplici. Il Comune di San Giuliano di Puglia non era incluso nelle aree sismiche<sup>82</sup> e quindi il progetto non era stato eseguito secondo criteri antisismici, la muratura di bassa qualità adottata, l'aggiunta di un secondo piano all'edificio, avvenuta nel settembre 2002, e l'amplificazione locale della scossa contribuirono considerevolmente al disastro<sup>83</sup>.

Più in generale, le ragioni più frequenti per cui gli edifici scolastici presentano un'elevata vulnerabilità al terremoto, si possono così riassumere:

- inadeguatezza della classificazione e della normativa sismica fino al 2003;
- configurazione architettonica;
- progettazione ed esecuzione carenti;
- scarsa manutenzione;
- modifiche strutturali successive alla costruzione e realizzate in maniera non opportuna<sup>84</sup>.

In una scuola la configurazione architettonica è generalmente complessa ed articolata, sono necessarie grandi luci e un'altezza interpiano significativa in ambienti che devono ospitare molte persone come la palestra, l'aula magna o la mensa e grandi aperture per ottenere una migliore illuminazione naturale. L'irregolarità nella forma porta spesso ad avere edifici con una forte irregolarità strutturale, caratteristica sfavorevole in caso di sisma<sup>85</sup>.

Un aspetto positivo invece, per le scuole primarie, è il fatto di essere costituite normalmente da uno o due piani, e quindi avere, a meno di luci strutturali e aperture ampie, una vulnerabilità medio-bassa<sup>86</sup>.

Sia nelle scuole di nuova costruzione sia in quelle esistenti è possibile intervenire per ridurre la vulnerabilità e, di conseguenza, il rischio sismico.

Per le prime, la normativa prescrive un incremento del 20% dell'intensità delle azioni di progetto rispetto alle costruzioni normali (es. residenziale), ma

---

<sup>82</sup> il Comune di San Giuliano di Puglia appartiene alla zona 2 dal 2003 (OPCM n. 3247).

<sup>83</sup> AA.VV., *Keeping Schools Safe in Earthquakes*, OECD – *Mauro Dolce*, *Seismic safety of schools in Italy*, p. 54.

<sup>84</sup> *Mauro Dolce*, *La sicurezza sismica delle scuole italiane*, p. 2.

<sup>85</sup> *Ibidem*, p. 4.

<sup>86</sup> *Ibidem*, p. 6.

ricorrere a nuove tecniche per proteggere l'edificio dal sisma, come l'isolamento sismico, è la soluzione migliore, soprattutto nelle aree a elevato rischio<sup>87</sup>.

Più complicato invece è risolvere i problemi di sicurezza strutturale nelle scuole esistenti, innanzitutto bisognerebbe approfondire la conoscenza della vulnerabilità della struttura, anche se un'analisi accurata richiede tempo e ha dei costi talvolta troppo elevati. Spesso il costo richiesto per il pieno adeguamento è dello stesso ordine di grandezza del costo di una nuova costruzione, occorre quindi chiedersi quanto sia conveniente intervenire, considerando anche la vita utile residua dell'edificio oggetto del potenziale adeguamento<sup>88</sup>.

### **1.3 Aspetti normativi**

Ai fini di una buona progettazione occorre tenere in considerazione, sia l'evoluzione dal punto di vista architettonico dei luoghi di apprendimento nel tempo (sempre più adatti allo sviluppo e alla formazione del bambino), sia la garanzia della massima sicurezza della struttura.

Inoltre è necessario fare riferimento alla normativa vigente sull'edilizia scolastica e quindi al D.M. del 18 dicembre 1975, alla legge n. 53 del 28 marzo 2003, alle Linee Guida dell'11 aprile 2013 e alla Circolare del Ministero dei Lavori Pubblici n. 4809 del 19 giugno 1968.

#### **1.3.1 La riforma dei cicli scolastici e una nuova idea di scuola**

Con la legge n. 53 del 28 marzo 2003 e il Decreto del Presidente della Repubblica n. 89 del 20 marzo 2009 si sono apportate modifiche agli ordinamenti e ai piani di studi, che hanno avuto qualche effetto anche sull'organismo architettonico e hanno portato a ripensare alcuni spazi.

Si riporta un breve elenco delle modifiche legislative che hanno interessato la scuola primaria:

---

<sup>87</sup> AA.VV., Keeping Schools Safe in Earthquakes, OECD – *Mauro Dolce*, Seismic safety of schools in Italy, p. 62.

<sup>88</sup> *Ibidem*, p. 62.



- l'anticipo facoltativo delle iscrizioni per i bambini che compiono i sei anni entro il 30 aprile dell'anno scolastico di riferimento;
- l'introduzione dei piani di studio personalizzati;
- la riorganizzazione dell'orario scolastico: da 24 a 27 ore settimanali, fino a 30 più eventualmente il tempo dedicato alla mensa, con la possibilità da parte delle famiglie, in base alla disponibilità dei posti e dei servizi attivati, di chiedere il tempo pieno (40 ore settimanali);
- il potenziamento delle attività di laboratorio e l'ampliamento dell'offerta formativa;
- l'introduzione dell'insegnamento della lingua inglese e dell'alfabetizzazione informatica fin dal primo anno della scuola primaria;
- l'abolizione dell'esame di Stato alla fine della 5° classe della scuola primaria, per favorire la continuità didattica con la scuola secondaria di primo grado<sup>89</sup>.

Anche la recente legge n. 107 del 13 luglio 2015, meglio conosciuta con il nome di "La buona scuola" rimarca la necessità di potenziare le lingue straniere e le attività di laboratorio e sottolinea l'importanza della pratica e della cultura musicale, dell'arte e della storia dell'arte. Inoltre invita ad una maggior attenzione per le discipline motorie, lo sport e l'educazione ad uno stile di vita sano e ad una corretta alimentazione.<sup>90</sup>

Spesso però le scuole possiedono spazi inadeguati per rendere efficaci disposizioni come l'avvio di attività laboratoriali o l'introduzione di piani di studio personalizzati. Inoltre l'anticipo scolastico facoltativo ha conseguenze sulla didattica e l'organizzazione degli spazi dedicati ai bambini della prima classe della scuola primaria<sup>91</sup>.

Di seguito verranno descritti i requisiti richiesti dalla normativa vigente e le caratteristiche di ogni spazio presente nella scuola.

---

<sup>89</sup> Legge n. 53 del 28-03-2003 e DPR n. 89 del 20-03-2009.

<sup>90</sup> Legge n. 107 del 13-07-2015, art. 1, c. 7.

<sup>91</sup> *Alessandra Capanna*, Edifici per la scuola-Quaderni di architettura dell'ANCE, EdilStampa pp. 35 e 46.

### **1.3.2 Localizzazione della scuola**

Dopo aver eseguito uno studio morfologico preliminare, per la scelta del luogo adeguato per la costruzione di un edificio scolastico, si dovrà tenere in considerazione quanto segue:

- il tipo di scuola, l'età e il numero degli alunni destinati a frequentarla;
- il tempo e i modi di percorrenza del tragitto casa-scuola per gli alunni;
- le condizioni ambientali<sup>92</sup>.

La scuola primaria generalmente si riferisce ad un ambito residenziale ed è raggiungibile fruendo di mezzi di trasporto pubblici, di mezzi privati o a piedi. In quest'ultimo caso il percorso deve essere agevole ed effettuabile nelle condizioni di massima sicurezza e possibilmente senza attraversamenti di linee di traffico<sup>93</sup>.

La scuola dovrà inoltre essere situata in una zona salubre, poco rumorosa, lontana da tutte le attrezzature urbane che possono arrecare disturbo allo svolgimento delle attività. L'area dovrà possibilmente essere alberata e ricca di verde, consentire il massimo soleggiamento e non essere esposta a venti fastidiosi, ad esalazioni e fumi nocivi o sgradevoli<sup>94</sup>.

In particolari condizioni il plesso scolastico può essere costituito da diversi edifici situati in aree tra loro vicine, a condizione che siano ad una distanza ragionevole, con un tempo di percorrenza al massimo di 4-5 minuti, oppure poste a 250-300 metri e collegate da un percorso sicuro<sup>95</sup>.

### **1.3.3 Area di intervento**

È preferibile che l'area sia di forma regolare, dotata di accessi comodi, ampia abbastanza da consentire l'arretramento dell'ingresso principale rispetto al filo stradale per offrire sufficiente sicurezza all'uscita degli alunni<sup>96</sup>. L'area coperta dagli edifici non deve superare la terza parte dell'area totale<sup>97</sup>.

---

<sup>92</sup> D.M. 18-12-1975 Norme tecniche, par. 1.1.1.

<sup>93</sup> *Ibidem*, par. 1.1.2.

<sup>94</sup> *Ibidem*, par. 1.1.4.

<sup>95</sup> Linee Guida 11-04-2013, par. II.1.

<sup>96</sup> D.M. 18-12-1975 Norme tecniche, par. 2.0.1.

<sup>97</sup> *Ibidem*, par. 2.1.3.

L'ampiezza minima dell'area necessaria alla costruzione di una scuola primaria in relazione al numero di classi da cui è composta è riportata nella seguente tabella.

NUMERO CLASSI O SEZIONI	SCUOLA ELEMENTARE		
	superficie totale m <sup>2</sup>	per sezione m <sup>2</sup>	per alunno m <sup>2</sup>
1	-	-	-
2	-	-	-
3	-	-	-
4	-	-	-
5	2.295	459	18,33
6	2.755	459	18,33
7	3.215	459	18,33
8	3.675	459	18,33
9	4.130	459	18,33
10	5.670	567	22,71
11	6.140	558	22,32
12	6.590	549	21,96
13	7.060	543	21,72
14	7.520	537	21,48
15	7.965	531	21,24
16	8.430	527	21,08
17	8.875	522	20,88
18	9.340	519	20,76
19	9.805	516	20,64
20	10.260	513	20,52
21	10.710	510	20,40
22	11.155	507	20,28
23	11.615	505	20,20
24	12.095	504	20,16
25	12.550	502	20,08

Riferimento al D.M. 18-12-1975 Norme tecniche, par. 2.1.2.

### 1.3.4 Accessibilità e parcheggi

Le scuole devono essere ben collegate con la rete dei mezzi pubblici e l'accesso deve essere garantito, sia dalla rete viaria, sia da piste ciclabili e percorsi pedonali sicuri. Dovranno essere previsti spazi di sosta per i mezzi di trasporto scolastico e la salita e la discesa dei bambini dovranno avvenire in uno spazio

sicuro, di adeguate dimensioni, che non richieda attraversamenti o non presenti situazioni di conflitto con i percorsi automobilistici<sup>98</sup>.

Nell'area del plesso scolastico devono essere presenti spazi coperti attrezzati per il deposito di biciclette e di ciclomotori per gli studenti e per il personale docente e non docente, il dimensionamento sarà in funzione della morfologia dei luoghi, del numero e dell'età degli allievi<sup>99</sup>.

Le dimensioni del parcheggio, ad uso esclusivo del plesso scolastico, sono definite in funzione della superficie lorda dell'edificio in misura di 1 mq di superficie di parcheggio ogni 5 mq di superficie lorda edificata. Il numero di posti auto si ottiene dividendo la superficie destinata al parcheggio per 25 mq, valore che comprende oltre allo spazio di sosta quello di manovra. Devono inoltre essere previsti posti auto riservati ai disabili in ragione di 1 ogni 40 posti auto<sup>100</sup>.

### **1.3.5 Scuola primaria: dimensioni e caratteristiche generali**

La dimensione minima di una scuola primaria è fissata in 5 classi e quella massima in 25 classi<sup>101</sup>. Le attività educative si svolgono normalmente su uno o due piani, qualora il comune lo ritenga inevitabile e, previo parere del provveditore agli studi, anche su più di due piani<sup>102</sup>.

Il modello aggregativo prescelto e il sistema di distribuzione delle aule determinano il tipo di impianto planimetrico, che può essere riconducibile a quattro diversi tipi: a padiglione, a corte, a patii o piastra e a pettine<sup>103</sup>.

L'edificio scolastico dovrà essere fruibile anche dagli alunni con disabilità, pertanto sono da osservarsi le norme contenute nella Circolare del Ministero dei Lavori Pubblici n. 4809 del 19 giugno 1968.

---

<sup>98</sup> Linee Guida 11-04-2013, par. II.1.

<sup>99</sup> *Ibidem*.

<sup>100</sup> *Ibidem*.

<sup>101</sup> D.M. 18-12-1975 Norme tecniche, par. 1.2.2.

<sup>102</sup> D.M. 18-12-1975 Norme tecniche, par. 3.0.4.

<sup>103</sup> *Alessandra Capanna*, Edifici per la scuola-Quaderni di architettura dell'ANCE, Edilstampa p. 37.

### **1.3.6 Ingressi ed atrio**

La scuola deve dotarsi di spazi di accoglienza e zone di attesa, sia all'interno sia all'esterno. Può essere opportuno prevedere un'area coperta nei pressi dell'ingresso principale, inoltre nell'atrio possono essere inseriti strumenti di comunicazione come pannelli per informazioni cartacee o schermi per aggiornare i genitori e gli ospiti sui programmi didattici e sulla quotidiana attività della comunità scolastica<sup>104</sup>.

Gli ingressi possono essere diversi ed avere differenti funzioni. L'ingresso per gli allievi deve essere facilmente controllabile dal personale, inoltre devono essere previsti un ingresso per il personale docente, amministrativo ed ausiliario, un ingresso per il rifornimento delle cucine e degli uffici amministrativi e un accesso per mezzi di emergenza come ambulanze e automezzi dei Vigili del Fuoco<sup>105</sup>.

### **1.3.7 Unità pedagogica (aula)**

Solo parte delle attività scolastiche e parascolastiche avvengono nell'aula, quindi il suo spazio gioca un ruolo complementare rispetto allo spazio dell'intera scuola. L'aula non dovrà costituire elemento base da ripetere in serie lungo un corridoio di disimpegno, ma dovrà integrarsi spazialmente con altri ambienti, le sue dimensioni dovranno essere adeguate ad un suo uso dinamico per consentire attività anche in piccoli gruppi o di recupero<sup>106</sup>.

Nella scuola primaria gli spazi delle unità pedagogiche devono prevedere la possibilità di variazione degli arredi e delle attrezzature. Può essere prevista una continuità spaziale fra le diverse unità, tramite pareti mobili o attraverso spazi per attività interclasse. Lo spazio riservato alle unità pedagogiche e ai disimpegni deve essere in relazione organica con gli spazi dell'intera scuola<sup>107</sup>.

Nelle aule delle prime due classi si possono mantenere alcuni elementi della sezione della scuola dell'infanzia, come i servizi igienici a diretto contatto con l'unità pedagogica, per evitare un brusco passaggio fra i due tipi di scuola. Nelle

---

<sup>104</sup> Linee Guida 11-04-2013, par. III.1.

<sup>105</sup> *Ibidem*.

<sup>106</sup> D.M. 18-12-1975 Norme tecniche, par. 3.1.0.

<sup>107</sup> *Ibidem*, par. 3.1.2.

classi superiori l'aula può assumere caratteristiche più simili a quelle della scuola secondaria di primo grado. È consigliabile che l'unità pedagogica sia chiaramente percepibile e che si presti attenzione alla vicinanza degli spogliatoi e dei servizi igienici<sup>108</sup>.

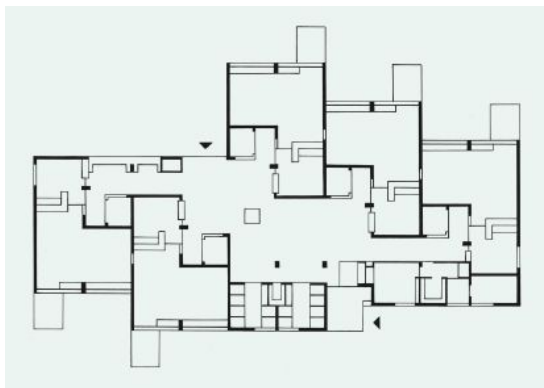


Fig. 10 - Plan, Montessori School di Delft  
Fonte: Herman Hertzberger, Space and Learning



Fig. 11 - Pareti mobili nella scuola di Vidigulfo  
Fonte: sandroghiozzi.wordpress.com

### 1.3.8 Spazi per le attività collettive

#### 1.3.8.1 Aula Magna - Auditorium

Nei plessi scolastici di una certa dimensione è utile prevedere anche un Aula Magna-Auditorium attrezzata per ospitare conferenze, spettacoli teatrali e musicali, con guardaroba e servizi igienici dedicati. L'Auditorium dovrà rispettare le norme di sicurezza per i locali di intrattenimento e di pubblico spettacolo, ovvero il Decreto del Ministero dell'Interno del 19 agosto 1996<sup>109</sup>. Particolare attenzione dovrà essere riservata al tema dell'acustica.

#### 1.3.8.2 Biblioteca

La presenza di una biblioteca è prevista da normativa solo per le scuole secondarie, tuttavia questo importante spazio, di supporto alla didattica potrebbe essere utile per attività inter-classe ed inter-sezione e potrebbe essere utilizzato dai bambini durante le ore pomeridiane<sup>110</sup>. Inoltre la biblioteca potrebbe avere un'area dedicata agli insegnanti.

<sup>108</sup> Linee Guida 11-04-2013, par. III.6.

<sup>109</sup> *Ibidem*, par. III.4.3.

<sup>110</sup> *Alessandra Capanna*, Edifici per la scuola-Quaderni di architettura dell'ANCE, EdilStampa p. 47.

### **1.3.8.3 Laboratori ed Atelier**

Questi spazi devono essere collegati con il resto della scuola e flessibili per adattarsi alle diverse esigenze, possono essere destinati ad attività espressive legate all'immagine, al disegno, alla pittura, alla scultura, alla musica, al movimento del corpo, alla danza, all'integrazione tra i diversi linguaggi<sup>111</sup>.

### **1.3.8.4 Spazi per l'apprendimento informale e il relax**

Sono spazi che devono garantire un certo grado di privacy e di comfort, in cui gli allievi possono interagire tra loro svolgendo giochi di gruppo, lavori manuali o pause di riposo<sup>112</sup>.

### **1.3.9 Palestra**

La scuola dovrà avere spazi per l'attività motoria, in funzione dell'età degli allievi, con annessi spogliatoi, servizi igienici e locali per il personale.

Occorre prestare attenzione alla sicurezza, utilizzando le superfici vetrate richieste dalla normativa ed evitando qualsiasi sporgenza pericolosa, garantire la fruibilità dello spazio agli studenti diversamente abili e rispettare le norme contenute nel D.M. del 19-08-1996 come per l'Auditorium<sup>113</sup>.

Nella scuola primaria da 10 a 25 classi si richiede una palestra di tipo A1, da 200 m<sup>2</sup> più i relativi servizi, la cui forma può non essere collegata alle dimensioni di campi da gioco agonistici, in quanto l'attività ginnica che vi si svolge è di carattere ludico<sup>114</sup>.

### **1.3.10 Infermeria e pronto soccorso**

In ogni scuola dovrà essere previsto un locale per interventi di pronto soccorso e per la visita medica, che può coincidere con quello da prevedere negli spogliatoi della palestra, se la scuola non supera i 500 allievi<sup>115</sup>.

---

<sup>111</sup> Linee Guida 11-04-2013, par. III.7.1.

<sup>112</sup> *Ibidem*, par. I.1.5.

<sup>113</sup> *Ibidem*, par. III.10.1.

<sup>114</sup> D.M. 18-12-1975 Norme tecniche, par. 3.5.1.

<sup>115</sup> Linee Guida 11-04-2013, par. III.3.4.

### **1.3.11 Mensa e cucina**

La mensa dovrà essere dimensionata in funzione del numero di allievi, tenendo presente che i pasti potranno essere consumati in più turni, la sua dimensione, compresi i relativi servizi, non dovrà comunque superare i 375 m<sup>2</sup> <sup>116</sup>.

A servizio dello spazio per la mensa si devono prevedere:

- un locale cucina di dimensioni e forma tale da permettere lo svolgimento delle funzioni cui è destinata e di poter accogliere le attrezzature necessarie;
- una dispensa per la conservazione delle derrate anche in frigorifero;
- un'anticucina e un locale per lavaggio delle stoviglie;
- uno spogliatoio e servizi igienici per il personale addetto;
- uno spazio per la pulizia degli allievi, corredato di lavabi<sup>117</sup>.

La preparazione dei pasti può avvenire nella cucina interna o all'esterno, nel secondo caso la scuola si occupa solo della distribuzione del cibo, questa scelta determina la dimensione dei locali di cucina<sup>118</sup>.

In tutte le scuole inoltre deve essere previsto uno spazio per il pranzo degli insegnanti e del personale non docente, un ambiente riservato ma visivamente in contatto con gli spazi comuni, che può essere utilizzato in altri momenti per riunioni del personale o altre attività didattiche<sup>119</sup>.

### **1.3.12 Direzione e amministrazione**

Il nucleo per la direzione e l'amministrazione della scuola, indipendente dallo spazio ove si svolgono le attività didattiche, dovrà essere ubicato possibilmente al piano terreno e facilmente percepibile dall'atrio della scuola, comprenderà:

- l'ufficio del Dirigente Scolastico, con annessa sala di aspetto;
- uno o più locali per la segreteria e l'archivio;
- sala per gli insegnanti, atta a contenere le cassettiere dei docenti, ed a consentire le riunioni del consiglio d'istituto;

---

<sup>116</sup> D.M. 18-12-1975 Norme tecniche, par. 3.6.1.

<sup>117</sup> *Ibidem*, par. 3.6.2.

<sup>118</sup> Linee Guida 11-04-2013, par. III.5.

<sup>119</sup> *Ibidem*.



- servizi igienici e spogliatoio per la presidenza e per gli insegnanti<sup>120</sup>.

### **1.3.13 Spazi distributivi**

Gli spazi per la distribuzione dovranno collegare tutti i locali dell'edificio dal punto di vista visivo e spaziale e dovranno svolgere la funzione di tessuto connettivo e interattivo di tutto l'organismo architettonico. Devono inoltre consentire rapporti di scambio tra tutti i fruitori della scuola e permettere la collocazione di arredi mobili, attrezzature particolari, come vetrine e posti di lavoro individuali<sup>121</sup>.

In edifici a più piani la distribuzione verticale dovrà essere assicurata da almeno una scala normale e da una scala di sicurezza posta all'esterno dell'edificio.

Le scale devono:

- servire non più di 10 aule per ogni piano;
- avere la larghezza della rampa pari a 0,5 m/allievo che ne usufruisce e comunque compresa tra 1,20 m e 2 m;
- avere i ripiani di larghezza pari a circa 1 volta e 1/4 delle rampe medesime;
- avere i gradini di forma rettangolare di altezza non superiore a 16 cm e di pedata non inferiore a 30 cm;
- essere previste con ogni possibile accorgimento al fine di evitare incidenti<sup>122</sup>.

Le scuole con più di un piano dovranno essere munite di ascensore tale da poter ospitare una sedia a ruote ed un accompagnatore; l'adozione di rampe è in tal caso facoltativa<sup>123</sup>.

### **1.3.14 Spazi per i servizi igienico-sanitari e spogliatoi**

I servizi igienici avranno caratteristiche diverse a seconda del tipo di scuola e dell'età degli alunni. Per rendere più graduale il passaggio tra scuola dell'infanzia e scuola primaria è preferibile conservare servizi igienici dedicati

---

<sup>120</sup> D.M. 18-12-1975 Norme tecniche, par. 3.7.1.

<sup>121</sup> *Ibidem*, par. 3.8.0.

<sup>122</sup> *Ibidem*, par. 3.8.1.

<sup>123</sup> *Ibidem*, par. 3.8.2.

per la classe almeno per le aule delle prime due classi della scuola primaria, per le altre aule si potranno prevedere servizi igienici più autonomi<sup>124</sup>.

In generale saranno preferibilmente illuminati ed aerati direttamente, ma potranno anche avere illuminazione artificiale e ventilazione forzata<sup>125</sup>.

I servizi igienico-sanitari della scuola primaria devono essere dotati di n. 1 vaso per classe per gli alunni, oltre ad alcuni vasi supplementari per servire gli spazi lontani dalle aule, inoltre le latrine devono:

- essere separate per sesso;
- essere costituite da box con pareti divisorie di altezza compresa tra 2,10 m e 2,30 m;
- avere le porte apribili verso l'esterno, sollevate dal pavimento e munite di chiusura dall'interno tale però che si possano aprire dall'esterno in caso di emergenza<sup>126</sup>.

Ogni scuola dovrà essere dotata di locali igienici utilizzabili da persone a ridotta o impedita capacità motoria, si dovrà quindi prevedere un gabinetto per piano avente le dimensioni minime di 1,80 x 1,80 m e attrezzato come specificato nella normativa di riferimento<sup>127</sup>.

Per quanto riguarda gli spogliatoi, sarà opportuno mantenerli vicino all'aula nelle prime due classi della scuola primaria, mentre per le classi superiori la maggior autonomia dei bambini lascerà margini di libertà al progettista<sup>128</sup>.

### **1.3.15 Magazzini e archivi**

In rapporto alle sue dimensioni, in ogni scuola si devono prevedere un magazzino generico e un deposito per il materiale necessario alla manutenzione del verde e dell'area esterna. Inoltre devono essere previsti spazi adeguati per i materiali e le attrezzature per la pulizia (carrelli, aspirapolveri, pulitrici), la

---

<sup>124</sup> Linee Guida 11-04-2013, par. III.2.2.

<sup>125</sup> *Ibidem*.

<sup>126</sup> D.M. 18-12-1975 Norme tecniche, par. 3.9.1.

<sup>127</sup> Circolare n. 4809 del 19-06-1968, par. 2.3.3.

<sup>128</sup> Linee Guida 11-04-2013, par. III.2.1.

conservazione del materiale didattico e l'archiviazione degli elaborati degli studenti<sup>129</sup>.

### 1.3.16 Arredamento e attrezzature

Le caratteristiche degli arredi e delle attrezzature dipendono dal tipo di scuole, dall'età degli alunni e dalle attività che devono consentire. Occorre tenere in considerazione anche la flessibilità, combinabilità e trasportabilità cui debbono rispondere e l'esigenza di una normalizzazione e standardizzazione tipologica e dimensionale<sup>130</sup>.

Le caratteristiche degli arredi e delle attrezzature sono oggetto di normativa da parte dell'UNI. I requisiti per cattedre e sedie destinate agli insegnanti e agli alunni e per le superfici verticali di scrittura si trovano rispettivamente nelle norme UNI 4856, UNI EN 1729, UNI EN 14434.

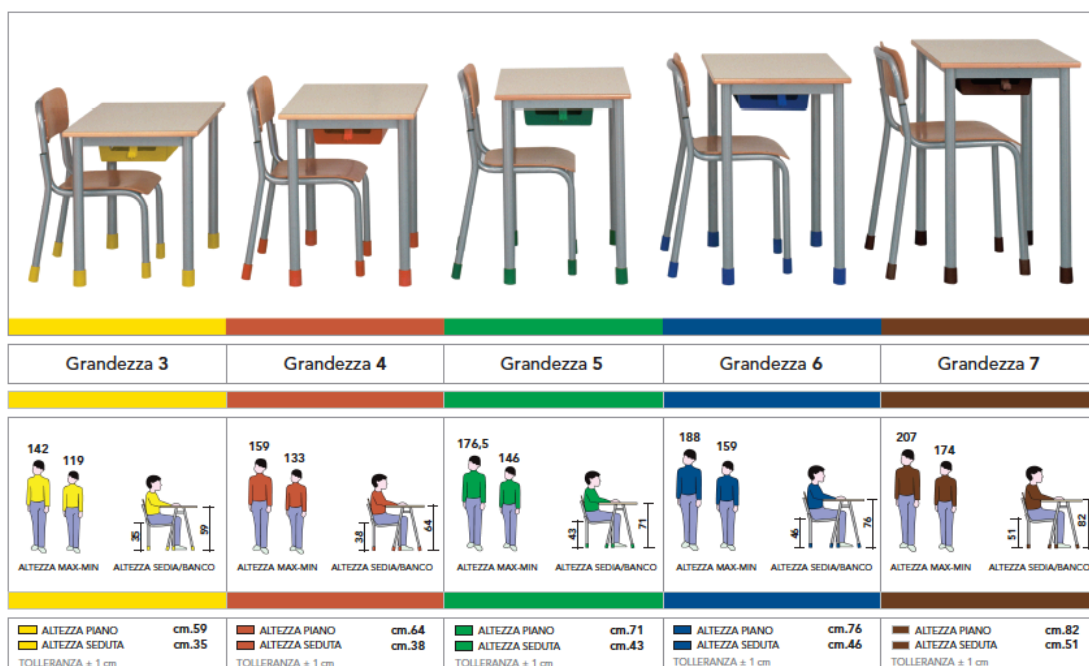


Fig. 12 Arredi scolastici (altezze e grandezze) – Fonte: Norme UNI EN 1729-1

Nella scuola primaria è possibile scegliere forme del piano del tavolo per gli alunni diverse da quelle quadrate e rettangolari per consentire attività di

<sup>129</sup> *Ibidem*, par. III.12.

<sup>130</sup> D.M. 18-12-1975 Norme tecniche, par. 4.0.2.

gruppo variamente articolate, purché si osservi la norma relativa alla combinabilità degli arredi<sup>131</sup>.

### 1.3.17 Spazi a cielo aperto

Lo spazio esterno costituisce parte integrante del progetto e deve essere curato e attrezzato per attività libere all'aria aperta o di tipo ludico-sportivo, può essere suddiviso per fasce di età e possono essere presenti prati, piantumazioni, orti didattici, sedie e attrezzature, giochi e selciati<sup>132</sup>.

Occorre offrire un contatto diretto con lo spazio aperto al maggior numero di aule, in particolare a quelle delle prime classi, per permettere lo svolgimento di attività didattiche e ricreative<sup>133</sup>.

### 1.3.18 Indici standard di superficie netta (scuola primaria)

Il D.M. del 18 dicembre 1975 fornisce anche indicazioni sulle dimensioni minime e massime di ogni spazio scolastico attraverso gli indici di superficie netta espressi in mq/alunno.

<b>1</b>	<b>Attività didattiche</b>	
	Attività normali	1,80
	Attività interciclo	0,64
	Indice di superficie totale riferito alle attività didattiche	
	min.	2,44
	max	2,70
<b>2</b>	<b>Attività collettive</b>	
	Attività integrative e parascolastiche	0,40
	Mensa e relativi servizi (1*)	0,70
<b>3</b>	<b>Attività complementari</b>	
	Biblioteca insegnanti	0,13
	Indice di superficie netta globale	5,21
	Indice di superficie max netta globale	5,58
	Somma indici parziali	

<sup>131</sup> *Ibidem*, par. 4.1.1.

<sup>132</sup> Linee Guida 11-04-2013, par. III.11.

<sup>133</sup> D.M. 18-12-1975 Norme tecniche, par. 3.1.2.

	min.	3,67
	max	3,93
	Connettivo e servizi igienici (42% della somma precedente)	
	min.	1,54
	max	1,65
<b>4</b>	<b>Spazi per l'educazione fisica</b>	
	Palestra, servizi palestra, ecc. tipo A <sub>1</sub> : 330 m <sup>2</sup> (da 10 a 25 classi)	
<b>5</b>	<b>Alloggio custode</b> (se richiesto): 80 m <sup>2</sup> netti	
<b>6</b>	<b>Spazi per la direzione didattica</b> (se richiesti): 100 m <sup>2</sup>	

(1\*) con ipotesi del doppio turno di refezione  
Fonte: tabella n. 6 del D.M. del 18 dicembre 1975

### **1.3.19 Norme relative alle condizioni di abitabilità**

#### **1.3.19.1 Condizioni acustiche**

I criteri generali relativi alle condizioni acustiche sono contenuti nella Circolare Ministeriale n. 1769 del 30 aprile 1966 "Criteri di valutazione e collaudo dei requisiti acustici nelle costruzioni edilizie".

I limiti di isolamento acustico sono fissati tenendo conto dei requisiti minimi per scuole o aule d'insegnamento, nel caso di ambienti come sale musicali o auditori interni alla scuola questi valori possono essere aumentati. Inoltre è importante che il tempo di riverberazione nelle aule non superi determinati valori limite, la verifica può essere svolta grazie alla conoscenza dei coefficienti di assorbimento e delle superfici dei materiali utilizzati<sup>134</sup>.

#### **1.3.19.2 Condizioni dell'illuminazione e del colore**

L'illuminazione naturale e artificiale dei locali scolastici deve garantire il benessere e la sicurezza degli studenti e degli altri utenti della scuola, per questo motivo occorre considerare nel progetto la quantità e la qualità della luce, la distribuzione dei corpi illuminanti, la protezione dai fenomeni di abbagliamento e la necessità di far prevalere la luce diretta rispetto a quella diffusa, soprattutto nel caso di illuminazione artificiale<sup>135</sup>.

<sup>134</sup> *Ibidem*, par. 5.1.1.

<sup>135</sup> *Ibidem*, par. 5.2.1.

I criteri generali per l'illuminazione artificiale e naturale delle aule e di altri locali scolastici si trovano nelle norme UNI 10840 e UNI EN 12464-1 "Luce e illuminazione – Illuminazione dei posti di lavoro – Posti di lavoro in interni".

Il D.M. del 18 dicembre 1975 norma anche le altezze minime richieste per ogni spazio scolastico, in modo tale da garantire anche un buon illuminamento.

TIPO DI SPAZIO		Altezza minima richiesta (cm)	
<b>1</b>	Spazi per l'unità pedagogica (classe)	300	
	Parti per il lavoro di gruppo	240	
<b>2</b>	Spazi per l'insegnamento specializzato	300	
	Se con gradinate:nella parte più bassa	240	
<b>3</b>	Spazi per laboratori e officine		
<b>4</b>	Spazi per la comunicazione e l'informazione		
	a. biblioteca	300	
	b. auditorio e sala attività integrative		
	Se con gradinate	Parte più bassa	240
		Parte più alta	420
	Senza gradinate	420	
<b>5</b>	Spazi per l'educazione fisica		
	palestra tipo A	540	
	palestra tipo B	720	
<b>6</b>	Spazi per la distribuzione	240	
<b>7</b>	Spazi amministrativi e visita medica	300	
<b>8</b>	Spazi per la mensa		
	a. se in nicchia fino a 30/35 m <sup>2</sup> di superficie	240	
	b. negli altri casi	300	

Norme sulle altezze di piano interne.

Fonte: tabella n.4 del D.M. del 18 dicembre 1975

### 1.3.19.3 Condizioni termoigrometriche e purezza dell'aria

Per rispettare i requisiti di abitabilità e garantire ambienti confortevoli anche nel periodo invernale sarà necessario progettare un impianto di riscaldamento che possa assicurare una temperatura di 20°C ed evitare che avvengano fenomeni di condensazioni nelle chiusure opache. È consigliabile assicurare adeguati valori di umidità relativa (compresi tra il 45% e il 55%) mediante un trattamento di umidificazione dell'aria esterna effettuato dall'impianto di

ventilazione. Occorre inoltre verificare che l'edificio scolastico sia impermeabile alla pioggia, e che i valori relativi alla trasmittanza e al ricambio di aria rispettino la normativa<sup>136</sup>.

#### **1.3.19.4 Condizioni di sicurezza**

Dovranno essere garantite la stabilità dell'edificio anche nel caso di eventi eccezionali come terremoti o alluvioni, la difesa da agenti atmosferici, fulmini ed incendi e la sicurezza degli impianti. Tutte le porte di accesso alla scuola e dei locali di uso collettivo dovranno essere dotate di apertura verso l'esterno.

Occorrerà inoltre prestare attenzione alla progettazione degli ambienti in cui si svolgono attività di movimento per evitare possibili infortuni degli studenti<sup>137</sup>.

#### **1.4 Riferimenti progettuali**

Di seguito si riportano i riferimenti scelti per la progettazione, con particolare riguardo all'inserimento della scuola nel contesto del quartiere, alla diversità dei volumi che compongono l'edificio, ai materiali per il rivestimento e la copertura, ai colori, e alle zone di sosta, gioco e riposo.

##### **1.4.1 Ravenor Primary School (Expansion) a Londra**

L'ampliamento della Ravenor Primary School è stato realizzato nel 2013.

L'edificio è caratterizzato da un colonnato a due piani in legno che offre continuità e schermo una serie di "oggetti" e di contenitori che compongono la scuola, ciascuno dei quali è rivestito da un materiale diverso. Il colonnato definisce le aree di in-between e funge da riparo per le aree gioco esterne. L'edificio è formato da diversi corpi, uno dei quali di forma plastica, scardina la regolarità della struttura. Il tentativo è quello di creare un edificio "grande" ma allo stesso tempo giocoso, informale e invitante, con ambienti stimolanti e divertenti per i bambini. All'interno lo spazio è ricco di luce e colore ed alcuni particolari e dettagli sono a scala di bambino<sup>138</sup>.

---

<sup>136</sup> *Ibidem*, par. 5.3.

<sup>137</sup> *Ibidem*, par. 5.4.

<sup>138</sup> [www.architecture.com/StirlingPrize/Awards2015/London/RavenorPrimaryExpansion.aspx](http://www.architecture.com/StirlingPrize/Awards2015/London/RavenorPrimaryExpansion.aspx).



Fig. 13 - Ravenor Primary School, London, United Kingdom (Architects: Seymour Harris Architecture) - Photo: Daniel Burton



Fig. 14 - Ravenor Primary School, London, United Kingdom (Architects: Seymour Harris Architecture) - Photo: Daniel Burton



### 1.4.2 Park Brow Primary School a Kirkby (Regno Unito)

La scuola primaria Park Brow, realizzata nel 2011, aveva come obiettivo quello di riqualificare il quartiere nel quale si inseriva e di coinvolgere la comunità locale. L'involucro è suddiviso in sezioni colorate, a ciascuna delle quali corrispondono una funzione e uno spazio precisi. Particolare attenzione è riservata al tema dell'illuminazione e della sostenibilità: l'intera area risulta estremamente luminosa grazie a un lucernario che lascia filtrare abbondante luce naturale dall'alto e mette in collegamento le principali funzioni dell'istituto, le aule sono dotate di finestre a tutta altezza che limitano l'uso di luce artificiale in orario diurno e le prestazioni energetiche sono continuamente monitorate.

A meno di un anno dalla sua apertura, la scuola Brow Park sembra sia riuscita nell'intento di rivitalizzare l'area circostante, diventando un esempio di sostenibilità e un punto di aggregazione per la comunità locale: in orario extra scolastico, infatti, l'edificio si apre ad accogliere diversi tipi di attività e servizi<sup>139</sup>.



Fig. 15 – Park Brow Primary School, Kirkby, United Kingdom (Architects: 2020Liverpool) – Photo: Infinite 3D.

<sup>139</sup> <http://www.archdaily.com/205579/park-brow-community-primary-school-2020-liverpool>.



Fig. 16 – Park Brow Primary School, Kirkby, United Kingdom (Architects: 2020Liverpool) – Photo: Infinite 3D.

### **1.4.3 Rolex Learning Center a Losanna**

Il Rolex Learning Center si trova nel campus dell'EPFL<sup>140</sup> e funge da laboratorio per l'apprendimento, biblioteca e centro culturale internazionale.

Per favorire gli scambi culturali e sociali tra gli studenti e le interazioni tra le persone che vivono nel mondo della ricerca, lo spazio è caratterizzato da unità e fluidità. L'idea alla base di questa opera architettonica è l'assenza di confini fisici: il pavimento e la copertura sono due gusci continui ondulati e ogni ambiente è definito dai morbidi passaggi tra quote diverse, che creano un'ideale separazione fra zone grazie a pendii e avvallamenti<sup>141</sup>.

---

<sup>140</sup> Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne.

<sup>141</sup> [www.promozioneacciaio.org/ambiente/articolo\\_rolex\\_lc.pdf](http://www.promozioneacciaio.org/ambiente/articolo_rolex_lc.pdf).



Fig. 17 – Rolex Learning Center EPFL, Lausanne, Suisse (studio SAANA) – Photo: Alain Herzog



Fig. 18 – Rolex Learning Center EPFL, Lausanne, Suisse (studio SAANA) – Photo: Alain Herzog



Fig. 19 – Rolex Learning Center EPFL, Lausanne, Suisse (studio SAANA) – Photo: Alain Herzog

#### **1.4.4 Copertura della Banca Popolare a Lodi**

L'edificio, progettato da Renzo Piano, si compone di un fabbricato rettangolare accostato ad altre costruzioni dalla particolare forma cilindrica: l'auditorium, i caveau e la torre tecnica. Nello spazio esterno è stata progettata una copertura vetrata di 1'400 m<sup>2</sup> sospesa a 8 m dal suolo.

La struttura portante è formata da un sistema di 37 putrelle radianti, a cavi tesi in acciaio inox e la vetrata è composta da 592 elementi con ben 264 forme differenti. I vetri, di tipo stratificato temperato di spessore 10+10 mm, sono fissati ai quattro angoli con uno speciale sistema a pinza. Fra i vetri è presente un giunto siliconico che assicura perfetto isolamento e impermeabilità<sup>142</sup>.

---

<sup>142</sup> [www.sunglass.it](http://www.sunglass.it).





Fig. 20 – Banca Popolare, Lodi (Renzo Piano) – Fonte: [www.sunglass.it](http://www.sunglass.it)

#### **1.4.5 Copertura della corte interna del British Museum a Londra**

Il progetto della copertura del British Museum di Norman Foster, realizzato nel 2000, prevedeva il recupero degli spazi della corte, ora fruibili come spazi distributivi. La copertura copre un'area irregolare di 6'000 m<sup>2</sup> ed è costituita da una struttura leggera iperstatica che collega il blocco della sala di lettura centrale ai corpi perimetrali.

La superficie ondulata, composta da 3'312 pannelli in vetro, è formata da una serie d'archi dimensionati grazie a un programma creato appositamente, differenti l'uno dall'altro in modo da non gravare sulla struttura storica con strutture di supporto. Il telaio della struttura, costituito da una lega d'acciaio duttile, è in grado di assorbire le deformazioni dovute agli sbalzi termici.

Le lastre in vetro sono trattate attraverso un processo di serigrafia, grazie al quale la luce viene filtrata ed è possibile garantire il benessere termico nello spazio interno<sup>143</sup>.

---

<sup>143</sup> [www.fosterandpartners.com](http://www.fosterandpartners.com).



Fig. 21 - British Museum, Londra (Norman Foster) - Fonte: [www.fosterandpartners.com](http://www.fosterandpartners.com)

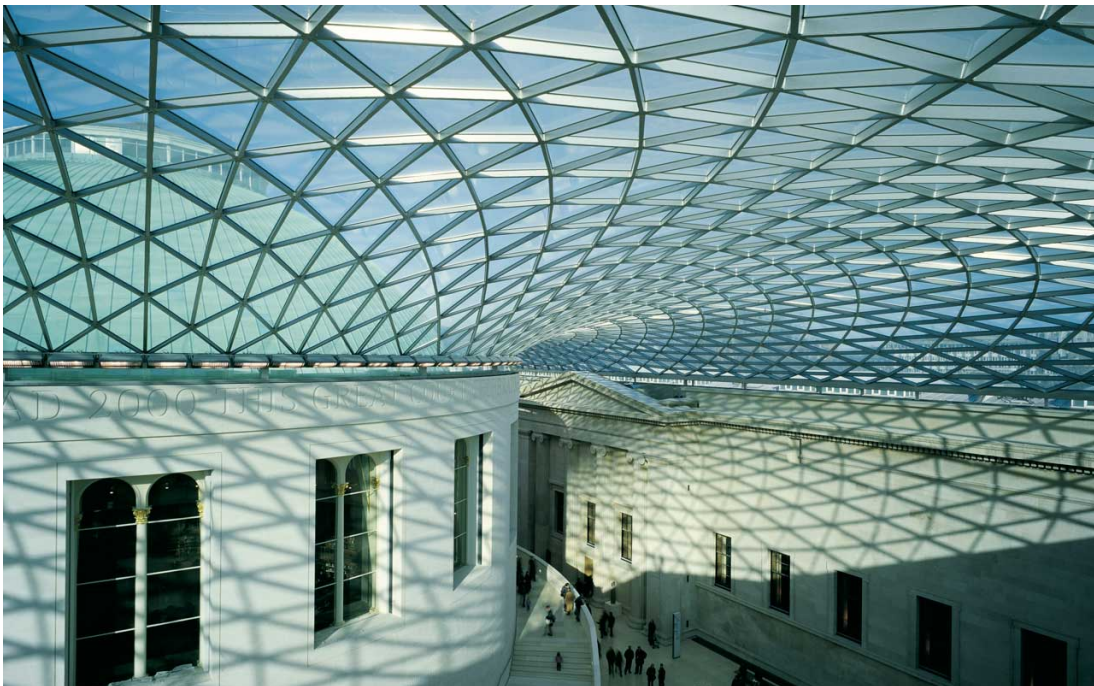


Fig. 22 - British Museum, Londra (Norman Foster) - Fonte: [www.fosterandpartners.com](http://www.fosterandpartners.com)





Fig. 23 – British Museum, Londra (Norman Foster) – Photo: [www.fosterandpartners.com](http://www.fosterandpartners.com)

#### **1.4.6 Rivestimento in vetro della Turninn a Reykjavik**

L'edificio è avvolto in un unico involucro di facciate continue, costellate di rientranze realizzate con vetrate verticali sfaccettate, distribuite casualmente sulla superficie dell'edificio. L'utilizzo di pannelli in vetro fissi e apribili di 1,5 m x 3,5 m (altezza di piano) permette di sfruttare la ventilazione passiva e di animare quelle che sarebbero altrimenti piatte ed imponenti facciate. L'edificio può apparire solido e al tempo stesso invisibile; riflettendo le nuvole e l'acqua si mimetizza con le montagne in lontananza. Quando è illuminato dall'interno sembra leggero e trasparente, consentendo scorci sugli utenti dell'edificio e sulla città e le montagne aldilà dell'edificio stesso.



Fig. 24 - Turninn, Reykjavik (PK Arkitektar) - Photo: Rafael Pinho

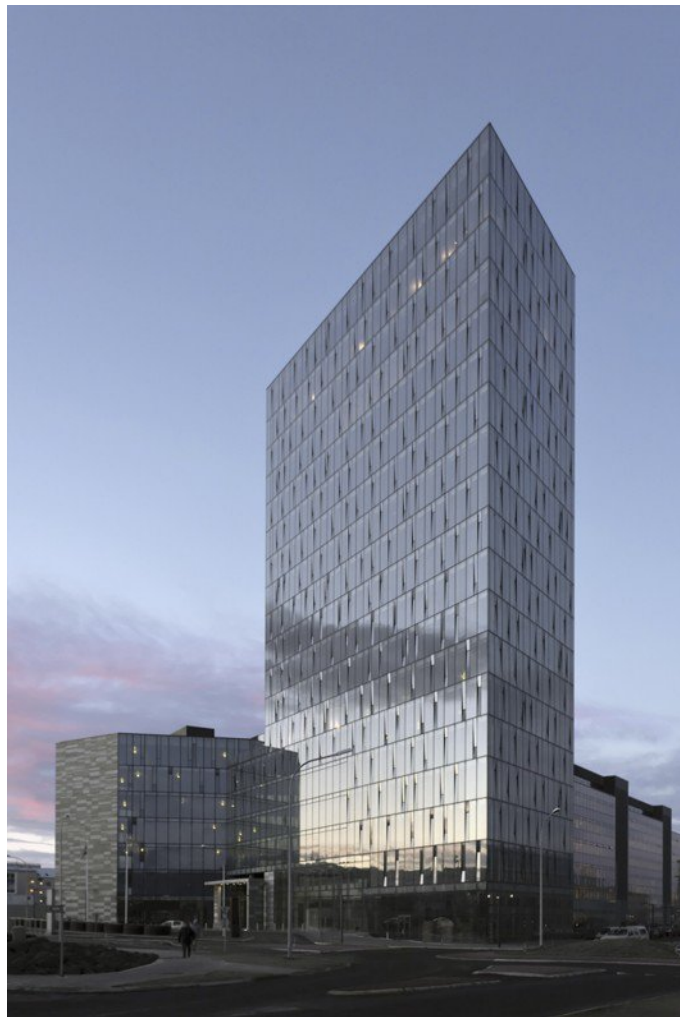


Fig. 25 - Turninn, Reykjavik (PK Arkitektar) - Photo: Hedi Kairouannis



### 1.4.7 Spazi per il gioco e il riposo

Negli edifici scolastici dovrebbero essere previste zone riservate al gioco, al riposo e alla lettura. Si riportano qui alcuni esempi di aree, nicchie e pareti attrezzate per lo svago e il relax realizzate a “scala di bambino”.

Talvolta le pareti di gioco sono mobili e regolabili, rendendo così le dimensioni e le funzioni di questi ambienti variabili.

Spesso le pareti hanno molti fori ed aperture e possono contenere una varietà di elementi: mensole, cassette, mobili estraibili, pareti lavagna, pareti di arrampicata, zone per il riposo e aree per piccoli spettacoli di burattini.



Fig. 26 e Fig. 27 – Family Service Elementary School, Berlin Mitte (Baupiloten) – Photo: Jan Bitter



Fig. 28 e Fig. 29 - Kindertagens, Tromsø, Norway (Architects: 70°N arkitektur) - Photo: Ivan Brodey



Fig. 30 e Fig. 31 - Kindertagens, Tromsø, Norway (Architects: 70°N arkitektur) - Photo: Ivan Brodey

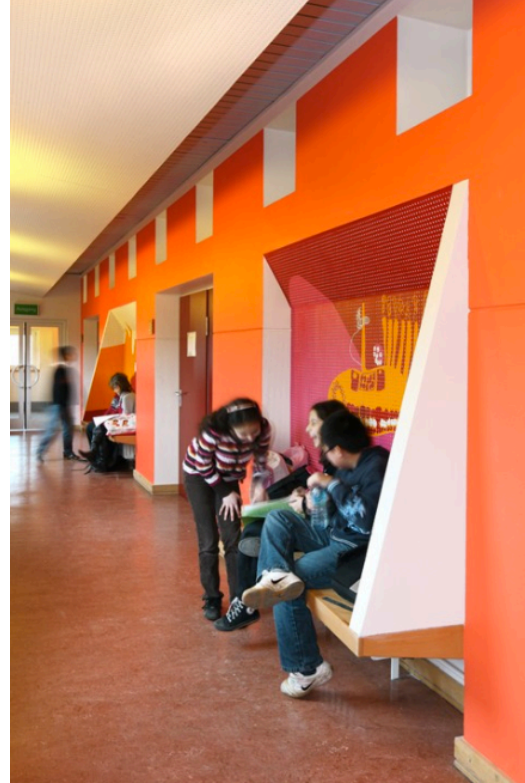


Fig. 32 e Fig. 33 – Galileo Primary School, Berlin Kreuzburg (Baupiloten) – Photo: Jan Bitter



## CAPITOLO 2 – LOCALIZZAZIONE DELL'INTERVENTO

### 2.1 Breve storia della città

La città di Ancona fu fondata dai Greci nel 387 a. C. e rimase per circa due secoli una fiorente colonia, in seguito fu attivo municipium di Roma e porto di comunicazione tra la Capitale e l'Oriente. Successivamente fu una delle pentapoli bizantine. Attraversò il periodo di maggior splendore dopo il 1000, quando divenne libero comune e repubblica marinara. Non intraprese mai guerre di sopraffazione con altre città, dovette invece spesso difendersi da assedi, che la videro sempre vittoriosa. Nel 1532 entrò a far parte dello Stato Pontificio, in seguito, alla fine del '700, divenne Repubblica napoleonica anconitana. Nel secolo successivo partecipò attivamente al Risorgimento italiano e nel 1860 divenne parte del Regno d'Italia. La città si è sempre contraddistinta per il suo rapporto intenso con il mare, la navigazione e l'Oriente<sup>144</sup>.



Fig. 34 – Città di Ancona, vista sul porto – Fonte: [www.wikipedia.it](http://www.wikipedia.it)

### 2.2 Edifici scolastici ad Ancona

Ad Ancona sono presenti otto Istituti Comprensivi che comprendono scuole dell'infanzia, primarie e secondarie di primo grado.

Si riporta un elenco degli Istituti Comprensivi e della loro organizzazione in plessi.

---

<sup>144</sup> [it.wikipedia.org/wiki/Ancona](http://it.wikipedia.org/wiki/Ancona).

### **2.2.1 Istituto Comprensivo “Ancona Nord”<sup>145</sup>**

Il bacino d’utenza dell’Istituto Comprensivo “Ancona Nord” riguarda il quartiere di Torrette e le zone di Paterno e Casine di Paterno, il quartiere Collemarino e quello di Palombina Nuova. L’istituto è composto da otto scuole.

Scuole dell’Infanzia:

- “*Il Grillo Parlante*” (via Bufalini, Collemarino Sud);
- “*La Sirenetta*” (via Mercantini, Palombina Nuova);
- “*Alba Serena*” (via Misa, Torrette).

Scuole Primarie:

- “*Dante Alighieri*” (via Volta, Collemarino Nord);
- “*Luigi Mercantini*” (via Mercantini, Palombina Nuova);
- “*Don Lorenzo Milani*” (via Metauro, Torrette).

Scuole Secondarie di primo grado:

- “*Alessandro Volta*” (viale Leonardo da Vinci, Collemarino);
- “*Enrico Fermi*” (via Metauro, Torrette).

### **2.2.2 Istituto Comprensivo “Augusto Scocchera”<sup>146</sup>**

L’Istituto è collocato nel quartiere residenziale Adriatico, compreso tra il Parco del “Conero” e il monumento littorio intitolato ai caduti della zona “Passetto”, in una zona in cui sono presenti risorse naturalistiche e culturali pregevoli. L’istituto raggruppa sette plessi.

Scuole dell’Infanzia:

- “*Acquario*” (via della Ferrovia);
- “*Anna Freud*” (via Pola);
- “*Casa dei bambini*” (via Tommasi);

Scuole Primarie:

- “*Conero*” (via Tagliamento);
- “*Pietralacroce*” (via Pietralacroce);
- “*Montessori*” (via Podgora).

Scuola Secondaria di primo grado:

---

<sup>145</sup> Piano Triennale dell’Offerta Formativa - Istituto Comprensivo “Ancona Nord”.

<sup>146</sup> Piano Triennale dell’Offerta Formativa - Istituto Comprensivo “Augusto Scocchera”.

- *“Conero”* (via del Conero).

### **2.2.3 Istituto Comprensivo *“Cittadella Centro”*<sup>147</sup>**

L'Istituto comprende tutte le scuole del quartiere Cittadella e alcune scuole del centro cittadino per un totale di sei plessi.

Scuole dell'Infanzia:

- *“Garibaldi”* (via Oberdan);
- *“Verne”* (via Tiziano);
- *“XXV Aprile”* (via Michelangelo).

Scuole Primarie:

- *“Antognini”* (c/o Donatello via Tiziano e c/o Ferrucci via Cadore);
- *“Faiani”* (via Oberdan).

Scuola Secondaria di primo grado:

- *“Donatello”* (via Tiziano).

### **2.2.4 Istituto Comprensivo *“Grazie Tavernelle”*<sup>148</sup>**

Il bacino dell'utenza scolastica è rappresentato dai due quartieri *“Le Grazie”* e *“Tavernelle”*. L'Istituto si trova in una delle aree territoriali più densamente popolate del Comune di Ancona e comprende sette plessi scolastici.

Scuole dell'Infanzia:

- *“Sabin”* (via Camerano);
- *“Varano”* (Frazione di Varano);
- *“Verbena”* (via Petrarca);
- *“Fantasia”* (via Fermo).

Scuole Primarie:

- *“Maggini”* (via Croce);
- *“Savio”* (via Torresi).

Scuola Secondaria di primo grado:

- *“Marconi”* (via Verga).

---

<sup>147</sup> Piano Triennale dell'Offerta Formativa - Istituto Comprensivo *“Cittadella Centro”*.

<sup>148</sup> Piano Triennale dell'Offerta Formativa - Istituto Comprensivo *“Grazie Tavernelle”*.

### **2.2.5 Istituto Comprensivo “Novelli Natalucci”<sup>149</sup>**

L'Istituto “Novelli Natalucci” si estende dal centro storico di Ancona al quartiere Adriatico e conta otto plessi più la scuola in ospedale Salesi (primaria e secondaria). Dai plessi dell'Istituto è possibile raggiungere facilmente i monumenti più significativi della città.

Scuole dell'Infanzia:

- “Mazzini” (via Fanti, 10);
- “Piaget” (via Montegrappa, 22);
- “Piaget” (corso Amendola, 47);
- “Redipuglia” (via Redipuglia, 35).

Scuola Primaria:

- “De Amicis” (corso Amendola, 57);
- “De Amicis” (via Fanti, 10);

Scuole Secondarie di primo grado:

- “Leopardi” (via Veneto, 9);
- “Pascoli” (via Cadore, 1/A).

### **2.2.6 Istituto Comprensivo “Pinocchio – Montesicuro”<sup>150</sup>**

È l'Istituto Comprensivo più ampio della città di Ancona, sia sotto il profilo dell'estensione geografica sia per il numero dei plessi (tredici) e degli alunni attualmente iscritti. Oltre ai quartieri Pinocchio e Palombare comprende quattro frazioni.

Scuole dell'Infanzia:

- “Pinocchio” (via Montagnola, 105 – Quartiere Pinocchio);
- “Tombari” (via dell'Artigianato, 26 – Quartiere Palombare);
- “Peter Pan” (via Calcinara 47/B – Frazione Candia);
- “Manzotti” (via Sappanico – Frazione Sappanico);
- “La Giostra” (via Montesicuro – Frazione Montesicuro);
- “Aspio” (Frazione Aspio).

Scuole Primarie:

---

<sup>149</sup> Piano Triennale dell'Offerta Formativa - Istituto Comprensivo “Novelli Natalucci”.

<sup>150</sup> Piano Triennale dell'Offerta Formativa - Istituto Comprensivo “Pinocchio Montesicuro”.

- *“Collodi”* (via Montagnola, 105 – Quartiere Pinocchio);
- *“Ungaretti”* (via Calcinara, 46 – Frazione Candia);
- *“Socciarelli”* (via dell’Artigianato, 26 – Quartiere Palombare);
- *“Levi”* (via Montesicuro – Frazione Montesicuro).

Scuola Secondaria di primo grado:

- *“Pinocchio”* (centrale-via Madonnetta – Quartiere Pinocchio);
- *“Pinocchio”* (succursale-via Montagnola 108 – Quartiere Pinocchio);
- *“Montesicuro”* (via Montesicuro – Frazione Montesicuro).

### **2.2.7 Istituto Comprensivo *“Posatora - Piano - Archi”*<sup>151</sup>**

Il bacino d’utenza dell’istituto si caratterizza per la presenza di strutture e di servizi e per i collegamenti stradali e ferroviari di notevole importanza. L’istituto è composto da otto plessi scolastici.

Scuole dell'Infanzia:

- *“Antonio Gramsci”* (via Brodolini);
- *“Regina Margherita”* (via Sebenico);
- *“Ferrante Aporti”* (via Fornaci Comunali).

Scuole Primarie:

- *“Anna Frank”* (via Brodolini);
- *“Augusto Elia”* (via Sebenico);
- *“Manlio Marinelli”* (via della Cupa);
- *“Leonardo Da Vinci”* (via Marconi).

Scuola Secondaria di primo grado:

- *“Francesco Podesti”* (via Urbino).

### **2.2.8 Istituto Comprensivo *“Quartieri Nuovi”*<sup>152</sup>**

Il territorio in cui è collocato l’Istituto presenta le caratteristiche della periferia urbana. Sono presenti alcune strutture sportive private e pubbliche e parchi gioco mentre sono poche le iniziative culturali promosse nella zona. I plessi dell’istituto sono sette.

---

<sup>151</sup> Piano Triennale dell’Offerta Formativa - Istituto Comprensivo “Posatora-Piano-Archi”.

<sup>152</sup> Piano Triennale dell’Offerta Formativa - Istituto Comprensivo “Quartieri Nuovi”.



Scuole dell'Infanzia:

- *"Passo Varano"* (Passo Varano);
- *"Primavera"* (via Brecce Bianche);
- *"Ginestra"* (via Flavia);
- *"Gabbianella"* (via Togliatti).

Scuole Primarie:

- *"G. Falcone"* (piazza Salvo D'Acquisto);
- *"G. Rodari"* (via Brecce Bianche).

Scuola Secondaria di primo grado:

- *"Michelangelo Buonarroti"* (via Lanzi).

### 2.3 Parchi pubblici ed aree gioco ad Ancona

Non mancano aree verdi e parchi, in cui si trovano anche spazi per il gioco dei bambini. Di seguito si riportano i nomi e una breve descrizione dei principali parchi pubblici della città<sup>153</sup>.



Fig. 35 – Planimetria dei parchi pubblici di Ancona e area di progetto

<sup>153</sup> [it.wikipedia.org/wiki/Parchi\\_publici\\_di\\_Ancona](https://it.wikipedia.org/wiki/Parchi_publici_di_Ancona).

### **2.3.1 Parco pubblico Cittadella**

Si trova sulla sommità del colle Astagno e prende il nome dalla Cittadella cinquecentesca adiacente. Il verde è abbondante e sono presenti tratti pianeggianti e saliscendi, al suo interno si trovano anche un'area giochi per bambini e un percorso atletico con attrezzature per fare esercizi.

Il parco è stato progettato facendo particolare attenzione anche alle esigenze dei non vedenti: le piante sono state scelte in modo da emanare ciascuna un profumo diverso e sono presenti targhe che ne indicano il nome anche in braille.

### **2.3.2 Parco Pincio**

Questo parco si trova vicino al Parco Cittadella, è piccolo ma di grande importanza storica dato che è il più antico della città, essendo sorto dopo la presa di Roma del 1870. È ricco di sempreverdi, ha un impianto geometrico dei sentieri ed ha un belvedere da cui si gode di un'ampia vista sulla città.

### **2.3.3 Parco del Cardeto**

Il Parco del Cardeto è il più vasto parco urbano di Ancona. È stato aperto al pubblico nel 2005 e occupa le sommità dei colli Cappuccini e Cardeto, un'area a picco sul mare e a ridosso del centro. Comprende luoghi di valore storico, un ambiente naturale di notevole interesse e numerosi punti panoramici sulla costa alta e sulla città.

### **2.3.4 Parco del Passetto**

È il principale parco pubblico del rione Passetto, a picco sul mare, si estende a sud del Monumento ai Caduti ed è attrezzato con una pista di pattinaggio e una piscina di 33 metri.

### **2.3.5 Parco Belvedere e Parco "Eraclio Fiorani"**

Si estendono sul pendio affacciato sul mare compreso fra il rione della Palombella e il rione di Posatora. Il parco Belvedere è un giardino pubblico che occupa la parte al di sopra di via Posatora ed offre un'ottima vista sul mare, sul

porto e su tutto il nucleo del centro storico della città. Il parco intitolato a Eraclio Fiorani, più tradizionale, occupa l'ampia area sottostante.

### 2.3.6 Parco degli Ulivi

Fruibile dalla popolazione e soprattutto dai bambini, occupa un vecchio uliveto ed è situato tra i quartieri di Collemarino e Palombina.

## 2.4 Sismicità

Il territorio di Ancona è classificato come zona sismica 2<sup>154</sup>.

La sismicità dell'Appennino Umbro-Marchigiano è caratterizzata da 3 fasce parallele: la prima coincide con l'Appennino, sede dei terremoti più distruttivi; la seconda con la porzione interna delle Marche, sede di terremoti forti anche con profondità ipocentrali elevate; la terza fascia è quella del fronte adriatico, quello più esterno della struttura appenninica. In generale la pericolosità sismica dell'intera regione Marche è abbastanza elevata e alquanto uniforme sul suo territorio.

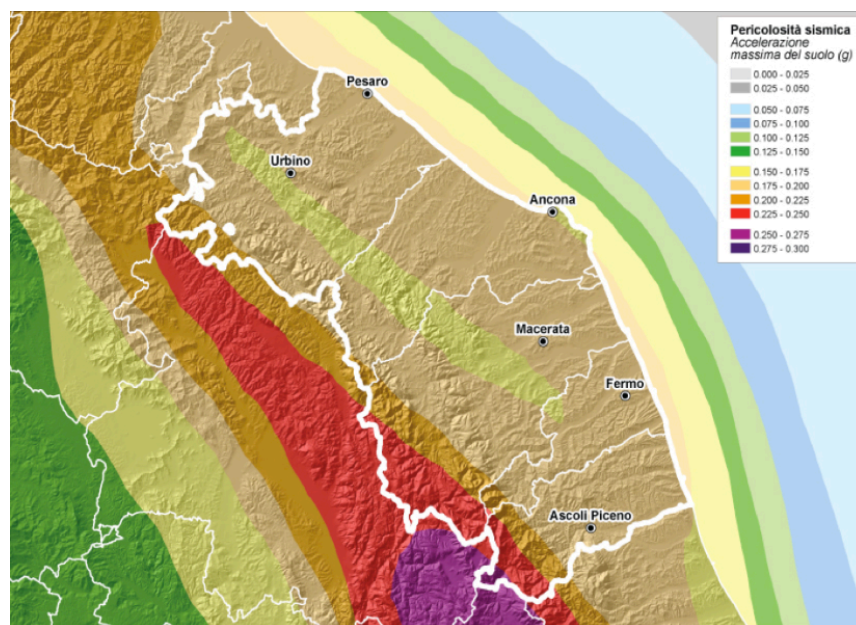


Fig. 36 – Pericolosità sismica della Regione Marche – Fonte: Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

<sup>154</sup> OPCM n. 3247 del 20 marzo 2003 “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”.

L'ultimo terremoto di una certa entità registrato nell'area di Ancona si è verificato il 25 gennaio 1972 e ha interessato tutta l'area delle Marche centrali lungo il mar Adriatico. Il sisma ha avuto un'intensità di 7 gradi sulla scala Mercalli-Cancani-Sieberg (MCS). Lo sciame sismico si è manifestato con nuove forti scosse il 4 e 5 febbraio ed il 14 giugno 1974, con magnitudo fra 5,4 e 5,5 sulla scala Richter. I danni agli edifici sono stati ingenti, con l'inagibilità di quasi tutto il centro storico anconetano, e un forte panico nella popolazione. Prima del terremoto del 1972 un altro terremoto importante si è verificato il 30 ottobre 1930, di magnitudo 5,8 e con un'intensità 8 MCS. Altri terremoti forti avvenuti nell'area dell'anconetano risalgono al 1690, con magnitudo 5,4 ed intensità 8 MCS, e al 1269<sup>155</sup>.

## 2.5 Collocazione dell'area di progetto

L'area di progetto, che misura 8518 m<sup>2</sup>, si colloca nel Rione di Borgo Rodi (I Circoscrizione) al confine con il quartiere Monte Marino e il Rione Montirozzo, in una zona principalmente residenziale, non lontano da due parchi pubblici cittadini, il Parco Cittadella e il Parco Pincio.

L'area è occupata da un edificio dismesso, sede fino al 2012 della scuola primaria "Antognini" facente parte dell'Istituto Comprensivo "Ancona Centro", da un piccolo parco pubblico, il Parco Michelangelo e da un parcheggio che dispone di circa 40 posti auto.

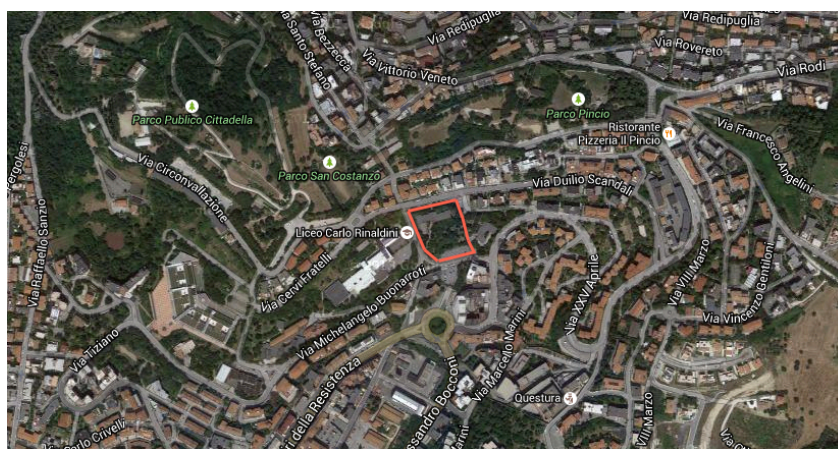


Fig. 37 – Area di progetto – Fonte: [www.google.it/maps](http://www.google.it/maps)

<sup>155</sup> INGV – I TERREMOTI NELLA STORIA: 24 APRILE 1741.



## 2.6 Analisi dei servizi presenti nel quartiere

Pochi sono gli esercizi commerciali che si possono trovare nella zona, la maggior parte di questi è concentrata su via Martiri della Resistenza e via XXV Aprile.

Si segnala inoltre la presenza di altri edifici scolastici nelle vicinanze, il liceo classico, musicale e delle scienze umane “C. Rinaldini” contiguo all’area di progetto e con ingresso da via del Canale e la sede principale dell’Istituto Comprensivo “Cittadella Centro”, poco distante.

## 2.7 Linee urbane di trasporto pubblico

Sulla mappa sono state evidenziate le linee di trasporto pubblico che servono l’area di progetto.

Il bus della linea n. 6 percorre il tragitto dalla stazione ferroviaria a piazza Cavour, fermando anche in via Buonarroti, in corrispondenza del parcheggio della scuola.

Il bus della linea n. 8 segue un percorso circolare, attraversa l’area Cittadella, Borgo Rodi e piazza Cavour, e si ferma anche su via Scandali, nei pressi dell’edificio scolastico.

La linea n. 11 invece collega il polo scolastico con il centro e la zona portuale di Ancona, la fermata nei pressi dell’area di progetto è su via Verdi.

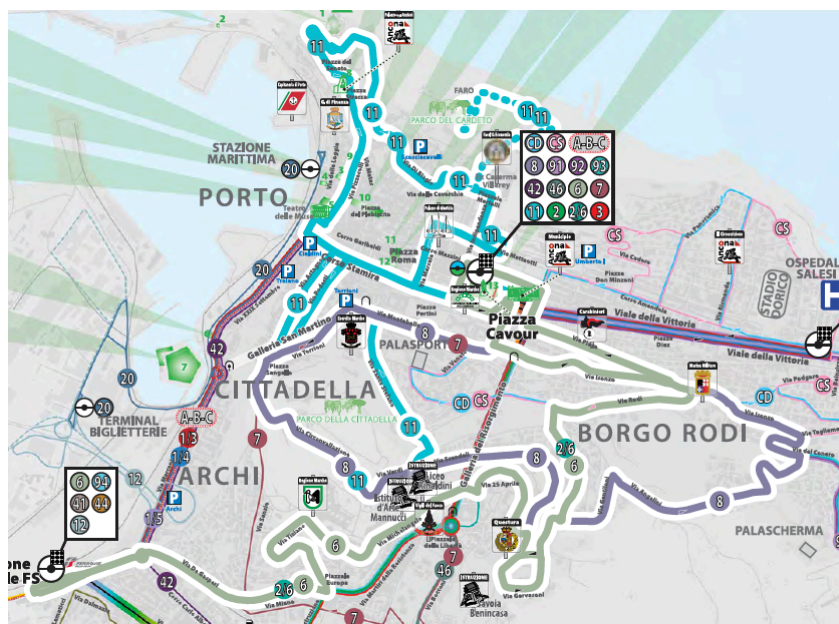


Fig. 38 – Servizio Trasporto Pubblico Ancona – Mappa interattiva – Fonte: [www.conerobus.it](http://www.conerobus.it)

## 2.8 Analisi dell'area di progetto

### 2.8.1 Terreno

Dal punto di vista orografico il territorio urbano è contraddistinto da un'alternanza di fasce collinari e di vallate.

L'area di progetto è caratterizzata da un certo dislivello, è pianeggiante solo nell'area occupata dall'edificio preesistente e presenta una pendenza di circa il 5% nella restante parte, si trova inoltre circa 4 m sotto al livello di via Scandali, separata da quest'ultima da un muro di contenimento, e circa 2 m sopra il livello del parcheggio e di via Bramante.



Fig. 39 – Quote e curve di livello dell'area di progetto

La relazione geologica del 13 marzo 2012 riporta come tipologia di terreno la categoria C – Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità.

La categoria topografica è di tipo T1 cioè superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media inferiore o uguale a 15 gradi.

Dalla cartografia del PAI Regione Marche si evince che la zona dove è collocata la scuola non si trova in un'area a rischio geologico.

### 2.8.2 Accessi

Gli accessi all'area sono numerosi: uno carrabile da via del Canale (1), due dal parcheggio della scuola, uno tramite una scala che porta al piccolo Parco Michelangelo (2), l'altro carrabile tramite una rampa (3), uno carrabile da via Bramante (4) e uno da via Scandali tramite una scala (5), questi ultimi due portano ad una piazzola sul lato est dell'edificio.



Fig. 40 – Accessi all'area di progetto

### 2.8.3 Edificio dismesso preesistente

Il complesso scolastico è caratterizzato da più corpi di fabbrica con struttura in cemento armato: il corpo principale, realizzato alla fine degli anni '60 e dove sono presenti le aule e la mensa, e il corpo con funzione di palestra, realizzato alla fine degli anni '90. I due corpi di fabbrica sono separati tra loro mediante un giunto strutturale, efficace anche dal punto di vista sismico. L'edificio principale è suddiviso in due parti, separate da un giunto tecnico, ed ospita le aule sul lato sud e gli spazi distributivi a nord.



Fig. 41 – Edificio scolastico preesistente – Fonte: Relazione tecnica del 2012

La verifica di vulnerabilità sismica della struttura, eseguita nel marzo del 2012 e i cui esiti sono riportati all'interno della relazione descrittiva e tecnico-specialistica, evidenzia diverse criticità<sup>156</sup>.

La struttura presenta dissesti e lesioni diffuse delle tamponature, derivanti probabilmente da cedimenti fondali localizzati nella porzione est dell'edificio; altre criticità sono riscontrabili a livello delle strutture portanti in elevazione.

Il fabbricato risulta carente sia in termini di capacità resistente sia di capacità deformativa a causa del giunto tecnico non efficace dal punto di vista sismico, della differenza di rigidità della struttura nelle due direzioni ortogonali, della copertura pesante e della scarsa qualità del calcestruzzo utilizzato.

Dalle analisi compiute sull'edificio emergeva la necessità di un intervento urgente di adeguamento sismico che però non si è realizzato nei modi e nei tempi previsti. La struttura è ora inagibile e in stato di abbandono, dal 2012 la

---

<sup>156</sup> Relazione tecnica – Verifica di vulnerabilità sismica della scuola “Antognini” in via Bramante, Ancona (realizzata da: Ing. Guerrini, Fattori, Panzini, Ciarrocchi, Cristiani).



scuola primaria “Antognini” è stata trasferita presso le scuole “Donatello” e “Pascoli”.

#### 2.8.4 Analisi del verde

L’area versa in uno stato di forte degrado e abbandono: la zona intorno all’edificio scolastico e il parco Michelangelo sono infestati dalle erbacce, tuttavia l’area è ricca di essenze arboree di un certo rilievo. Si segnala la presenza di due cipressi mediterranei che, grazie al contrasto con gli alberi a foglie caduche, risaltano all’interno dell’area soprattutto nei mesi invernali, altri cipressi comuni più bassi si trovano ai confini dell’area di progetto. Tra l’edificio preesistente e via Scandali sono presenti lecci e pitosfori, mentre nella zona antistante si trovano faggi, conifere e arbusti, come la deutzia e l’eleagno.



Fig. 42 – Cipresso mediterraneo



Fig. 43 – Cipresso comune



Fig. 44 – Leccio



Fig. 45 – Pitosforo



Fig. 46 – Deutzia

## CAPITOLO 3 – PROGETTO

### 3.1 Descrizione generale dell'intervento

#### 3.1.1 Demolizione del fabbricato esistente – Motivazioni

L'edificio attualmente sull'area di progetto presenta diversi problemi strutturali rilevati da indagini in situ svolte nel 2012, i cui risultati sono riportati in una relazione tecnica. Le indagini hanno permesso di raggiungere un buon livello di conoscenza della struttura, pari al Livello di Conoscenza LC2, necessario al fine di realizzare un modello strutturale adeguato per svolgere un'analisi non lineare e verificare la vulnerabilità dell'edificio<sup>157</sup>.

Il fabbricato presenta sia lesioni da distacco in corrispondenza della giunzione fra corpo A e corpo B, che denunciano la presenza di un giunto sismicamente non adeguato, sia lesioni da cedimenti fondali nella zona ad est<sup>158</sup>. Dall'analisi condotta il fabbricato risulta carente sia in termini di capacità resistente che di capacità deformativa, a causa della presenza del giunto tecnico, di una differenza di rigidezza nelle due direzioni ortogonali, di una copertura pesante e dell'uso di un calcestruzzo che non possiede buone caratteristiche di resistenza<sup>159</sup>.

Fin dal 1935 la città di Ancona era classificata come zona sismica di seconda categoria<sup>160</sup>. L'edificio, costruito negli anni '60, dovrebbe quindi rispettare la normativa antisismica dell'epoca. Nel frattempo però il quadro normativo è profondamente mutato e probabilmente il fabbricato non è conforme alla normativa vigente.

Il costo di un intervento di adeguamento sismico della struttura potrebbe essere dello stesso ordine di grandezza di quello di completa ricostruzione, specialmente se si dovesse richiedere un pieno adeguamento, tale da conseguire lo stesso livello di sicurezza nominale di una costruzione nuova. Considerata la ridotta vita utile residua dell'edificio e la possibile limitatezza di fondi

---

<sup>157</sup> Relazione tecnica – Verifica di vulnerabilità sismica della scuola “Antognini” in via Bramante, Ancona (realizzata da: Ing. Guerrini, Fattori, Panzini, Ciarrocchi, Cristiani).

<sup>158</sup> *Ibidem*, pag. 4.

<sup>159</sup> *Ibidem*, pag. 40.

<sup>160</sup> Regio Decreto Legge n. 640 del 25 marzo 1935.

disponibili per la sua demolizione e ricostruzione, potrebbe essere per contro accettabile un intervento di adeguamento parziale che garantisca un livello di sicurezza ridotto, sufficiente a mantenere operativa la struttura per un periodo di tempo limitato, in attesa di pianificarne la completa ricostruzione<sup>161</sup>.

Dal punto di vista architettonico l'organizzazione degli spazi interni al fabbricato segue uno schema tradizionale, non più adeguato alla realtà attuale: sono presenti solo aule e corridoi di distribuzione, pochi sono gli spazi destinati alle attività collettive.

Si è quindi optato per una demolizione e nuova progettazione dell'edificio e si è cercato di rendere il nuovo edificio scolastico più gradevole e sicuro, tenendo in considerazione gli aspetti architettonici riportati nel paragrafo 1.1 del capitolo 1 e i nuovi sistemi per la protezione della struttura in caso di sisma.

### **3.1.2 Rispetto dell'ambiente e mantenimento parziale del verde**

Si è scelto di conservare il più possibile la vegetazione preesistente, senza però il vincolo di dover realizzare un edificio che seguisse la sagoma di quello precedente. Il nuovo edificio copre una superficie superiore al preesistente e ciò comporta un parziale disboscamento dell'area. Ai fini della tutela del paesaggio si prevede di effettuare una piantumazione compensativa degli alberi abbattuti. Sono stati mantenuti i lecci e i pitosfori nella zona tra l'edificio e via Scandali, è stata infittita la zona alberata tra l'edificio e via del Canale, grazie alla piantumazione di nuovi cipressi. Sono stati conservati i due cipressi interni all'area e la vegetazione bassa del parco Michelangelo.

### **3.1.3 Un'area accessibile a tutti**

Si è scelto di intervenire sull'area esterna per migliorare l'accessibilità all'edificio scolastico. L'idea è stata quella di creare un percorso in leggera pendenza (inferiore all'8%) che portasse all'ingresso principale dell'edificio eliminando le scale fra il parcheggio e il parco, che avrebbero rappresentato un ostacolo per le persone con disabilità motoria. A questo fine è stato abbattuto il

---

<sup>161</sup> *Mauro Dolce*, La sicurezza sismica delle scuole italiane, p. 7.

muro di contenimento, rimodellando il terreno tra il parcheggio ed il parco Michelangelo ed è stato eliminato il parcheggio presente, sostituito da un'area pedonale e ciclabile che consente di raggiungere l'ingresso principale. Si è lasciata solo una striscia di ex-parcheggio su via Buonarroti, convertita a zona di sosta riservata solo al carico e scarico.

Il nuovo parcheggio trova spazio nell'area oltre via Buonarroti. Sono inoltre presenti altri posti auto, riservati al personale scolastico, nella piazzola antistante gli ingressi secondari al fondo di via Bramante.

Si accede all'ingresso principale attraverso un'area coperta di in-between, a lato della quale si trova l'ufficio informazioni.

Sono previsti altri ingressi secondari su via Bramante dedicati principalmente agli insegnanti e al rifornimento della cucina. Questi accessi sono eventualmente raggiungibili anche dai mezzi di soccorso.

### **3.1.4 Una scuola come Civic Center**

Si è scelto di modificare l'approccio tradizionale che considera le scuole come semplici contenitori, per progettare uno spazio d'apprendimento coerente con le innovazioni determinate dalle tecnologie digitali e dall'evoluzione della didattica.

Si propongono spazi modulari, ambienti plastici e flessibili, in grado di rispondere a contesti educativi sempre diversi: aule multimediali e polivalenti, laboratori, spazi attrezzati dedicati agli studenti per la socializzazione, lo studio e il relax, spazi per gli insegnanti, per lo studio, l'ascolto e la relazione con studenti e genitori.

La scuola è aperta, flessibile, adattabile a un'organizzazione della didattica che mette al centro lo studente e, allo stesso tempo, è centro culturale, di formazione, di aggregazione territoriale.

Una scuola che ambisce a diventare punto di riferimento per il territorio: "civic center" non solo per le attività di apprendimento, ma anche per attività formative, ricreative e culturali da svilupparsi in una struttura aperta l'intera giornata, un luogo privilegiato di educazione, di istruzione, di formazione integrale dei cittadini di oggi e di domani.

Un luogo della comunità e per la comunità dove prevenire e contrastare la dispersione scolastica, per offrire uno spazio di crescita privilegiato e promuovere la cultura dell'integrazione, dell'accoglienza, della cittadinanza attiva, la partecipazione dei ragazzi e dei cittadini del quartiere alle iniziative che li riguardano, utilizzando al meglio i suoi spazi per convegni, congressi, rappresentazioni teatrali e concerti.

### **3.1.5 Progetto dell'edificio scolastico**

Il progetto prevede la costruzione di un edificio formato da due blocchi rigidi perpendicolari tra loro, il primo destinato alle aule (blocco A), il secondo agli spazi collettivi (blocco B) e ad un blocco plastico (blocco C) che ospita l'Aula Magna.

La tipologia di questo complesso è ibrida e riprende sia quella dell'edificio a padiglione sia quella della corte. Lo spazio centrale di connessione a piano terra assume un ruolo importante e diventa non solo spazio distributivo, ma anche luogo di incontri e di scambi sociali.

La disposizione dei tre blocchi asseconda la pendenza del terreno, pendenza che viene riportata anche all'interno con la realizzazione di uno spazio centrale di connessione fluido e leggermente inclinato verso l'Aula Magna e l'ingresso principale.

I diversi corpi dell'edificio sono disposti in modo tale da "aprirsi" verso il quartiere in cui si inserisce l'edificio. La scuola, infatti, concepita come "civic center", può essere aperta anche in orario extrascolastico e nell'Aula Magna e nei laboratori possono essere organizzate attività aperte a tutti i cittadini.

I blocchi A e B sono di tre piani e raggiungono la stessa altezza, in corrispondenza dello spazio dedicato alla mensa (blocco B) è prevista una doppia altezza. Il blocco C invece è di un piano solo e si lega ai blocchi A e B grazie ad una copertura leggera in tiranti di acciaio e vetro, disposta in corrispondenza dello spazio distributivo centrale al piano terra.

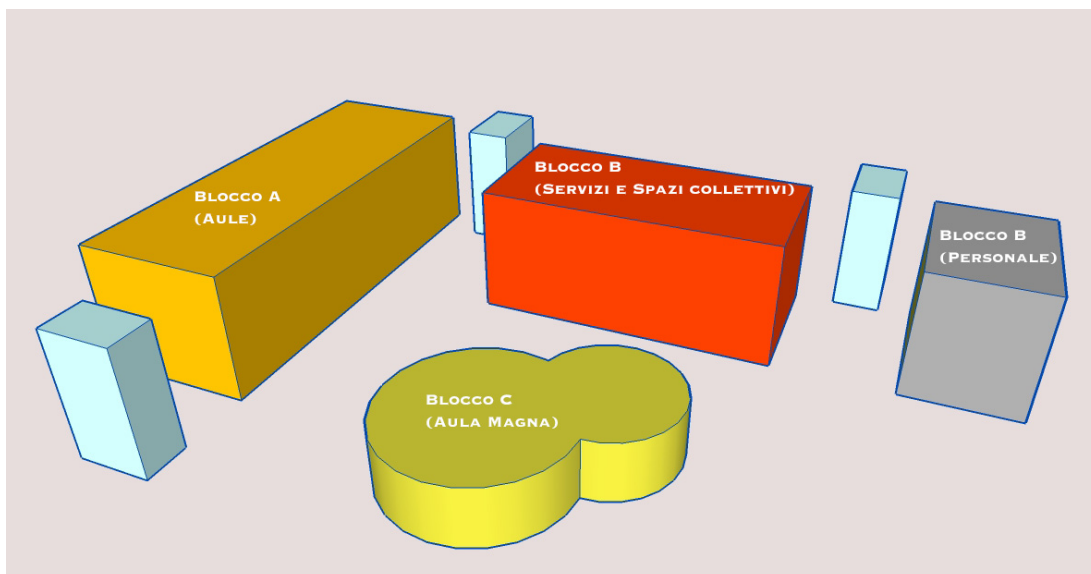


Fig. 47 – Concept

## 3.2 Funzioni all'interno dell'edificio

### 3.2.1 Unità pedagogiche (Aule)

Le unità pedagogiche sono collocate nel blocco A e sono quattro per piano, per 12 unità complessive.

A piano terra sono previste le classi prime (bambini di età compresa fra 5-6 anni) e per questo motivo è stato progettata una zona di in-between tra le aule e lo spazio distributivo centrale, in cui sono stati inseriti alcuni elementi che sono generalmente presenti negli asili: aree per il gioco e il riposo.

Ai piani superiori sono presenti altre aule, dedicate alle classi superiori, fuori dalla classe il corridoio è stato attrezzato con sedute e spazi per lo studio e il tempo libero.

Tutte le aule sono dotate di una parete mobile sul fondo che, all'occorrenza, permette di ottenere uno spazio interclasse per attività di gruppo.

	Quantità	Superficie minima (mq)	Superficie (mq)	Totale (mq)
Unità pedagogica (A)	6	61,00	68,82	412,92
Unità pedagogica (B)	6	61,00	69,56	417,36
<b>Totale</b>				<b>830,28</b>

### 3.2.2 Aula Magna

L'Aula Magna è stata realizzata all'interno del blocco C ed ha una pianta di forma plastica, definita utilizzando tre diversi raggi di curvatura, in contrapposizione alla rigidità del blocco A e B.

L'ingresso all'aula è consentito anche dall'esterno e l'area di accesso rispetta i requisiti imposti dalla legge<sup>162</sup>.

L'Aula contiene n. 280 posti a sedere fissi con sedile a ribaltamento automatico e n. 70 posti in piedi, la distribuzione dei posti è stata progettata in osservanza a quanto previsto dalla normativa vigente<sup>163</sup>.

Sono state disposte n. 3 uscite di sicurezza verso l'esterno, rispettando i minimi previsti<sup>164</sup>.

Questo spazio si presta ad essere utilizzato non solo per attività scolastiche, ma all'occorrenza anche per manifestazioni, convegni e conferenze cittadine.

	Quantità	N. posti	Superficie (mq)
Aula Magna (PT)	1	350	300

### 3.2.3 Spazi per le attività collettive

Le lezioni frontali, espressione di una didattica piuttosto tradizionale, sono state ormai superate da metodologie didattiche innovative che contemplan anche altri tipi di apprendimento come il "learning by doing" e il "project work". Per questo motivo si è scelto di dare ampio spazio ai laboratori e alle attività collettive.

	Quantità	Superficie (mq)	Totale (mq)
Aula di Informatica (2P)	1	46,93	46,93
Laboratorio di Scienze (2P)	1	62,04	62,04
Laboratorio Linguistico (2P)	1	46,53	46,53
Laboratorio Musicale (2P)	1	62,04	62,04
Laboratorio di Arte (2P)	1	128,8	128,8
Biblioteca (2P)	1	47,52	47,52

<sup>162</sup> D.M. del 19 agosto 1996, Titolo II, par. 2.1.3.

<sup>163</sup> *Ibidem*, Titolo III, par. 3.1, 3.2 e 3.3.

<sup>164</sup> *Ibidem*, Titolo IV, par. 4.3.

Aula Video	1	30,36	30,36
Zona lettura e riposo (1P-2P)	2	21,78	43,56
Zona gioco e riposo (PT)	1	105,6	105,6
Totale			<b>543,02</b>

Altri spazi collettivi sono rappresentati dall'area a piano terra in leggera pendenza e dagli spazi distributivi attrezzati realizzati al primo e secondo piano, luoghi dove avvengono relazioni e scambi e nei quali i bambini possono trascorrere gli intervalli. Lo spazio distributivo al primo piano affaccia sull'ampio spazio centrale, rendendo possibile il contatto visivo fra i fruitori dell'edificio. Il parapetto presente al primo piano sarà alto 1,20 m per evitare scavalcamenti<sup>165</sup>.

	Quantità	Superficie (mq)	Totale (mq)
Spazio distributivo (1P-2P)	2	167,2	334,4
Spazio distributivo lab. (2P)	1	76,96	76,96
Spazio collettivo centrale (PT)	1	377,36	377,36
Totale			<b>788,72</b>

### 3.2.4 Palestra

Per economicità si è scelto di non progettare una palestra all'interno dell'edificio, le attività ludiche e sportive sono previste nella palestra del liceo classico, musicale e delle scienze umane "C. Rinaldini". Considerato che le attività del liceo si svolgono solo durante la mattinata, le attività sportive della scuola primaria si possono svolgere di pomeriggio, quando sarà disponibile la palestra.

### 3.2.5 Infermeria

Non essendo presente la palestra, nella quale trova in genere spazio anche un piccolo locale adibito a infermeria, quest'ultima è stata collocata al primo piano dell'edificio.

<sup>165</sup> Linee Guida 11-04-2013, par. VI.



	Quantità	Superficie (mq)	Totale (mq)
Infermeria	1	10,08	10,08

### 3.2.6 Mensa

Per assicurare una migliore qualità dei pasti e favorire un'opportuna educazione alimentare si è scelto di progettare una mensa con cucina interna. La mensa è stata dimensionata ipotizzando che i turni di refezione siano due.

	Quantità	Superficie min. (mq)	Superficie max. (mq)	Superficie (mq)
Mensa	1	210	375	333,2
Anticucina	1	-	-	7,59
Cucina	1	-	-	43,24
Locale lavaggio	1	-	-	13,57
Dispensa	1	-	-	21,83
Spogliatoio cuochi	1	-	-	7,59
<b>Totale</b>				<b>427,02</b>

### 3.2.7 Spazi per l'amministrazione, gli insegnanti ed il personale

Non è previsto uno spazio per la direzione in quanto la scuola fa parte dell'Istituto Comprensivo "Cittadella Centro" e la sede della direzione si trova in via Tiziano, presso la scuola "Donatello".

	Quantità	Superficie (mq)	Totale (mq)
Aula insegnanti	1	42,32	42,32
Aula riunioni	1	33,22	33,22
Segreteria	1	22,09	22,09
Archivio	1	14,52	14,52
Ufficio informazioni	1	20,24	20,24
Spazio collaboratori scolastici	1	10,08	10,08
<b>Totale</b>			<b>142,47</b>

### 3.2.8 Sistemi di elevazione verticale

Le scale sono disposte nelle zone terminali dei blocchi A e B e sono tre, di cui due interne e una esterna di sicurezza.

	Quantità	Alzata (cm)	Pedata (cm)	Larghezza rampa (cm)
Scala interna	2	16	30	1,20
Scala esterna	1	16	30	1,20

Si attrezzano con l'ascensore i due collegamenti verticali dell'edificio. Si sceglie un ascensore senza locale macchina con una portata di 1'000 Kg – 13 persone, di dimensioni adeguate al vano disponibile<sup>166</sup>.

	Quantità	Dimensioni (mm)	Portata (kg)
Ascensore	2	1650x2475	1000

### 3.2.9 Servizi igienici e spogliatoi

I servizi igienici sono di diverse tipologie: per studenti, per il personale e a servizio dell'Aula Magna.

Al piano terra si aumenta il numero di lavabi, in considerazione del fatto che i servizi igienici si trovano nei pressi della mensa. Altri lavabi aggiuntivi sono previsti nel laboratorio di arte e pittura e nell'aula di scienze.

	Quantità	N. vasi	Superficie (mq)	Totale (mq)
Servizi alunni PT	1	8	39,48	39,48
Servizi alunni 1P-2P	2	8	28,77	57,54
Servizi personale	2	2	8,68	17,36
Servizi Aula Magna	1	4	7,56	7,56
Totale				<b>121,94</b>

Sono previsti spogliatoi solo per i cuochi ed il personale addetto alla cucina e alla linea di distribuzione dei pasti, gli studenti potranno lasciare le proprie

<sup>166</sup> [www.schindler.it](http://www.schindler.it) – ascensore Schindler del tipo 5500 MRL.

giacche in uno spazio dedicato all'interno della classe e gli insegnanti avranno a disposizione l'aula insegnanti.

### 3.2.10 Locali tecnici

Si prevedono uno spazio per la centrale termica a piano terra a diretto contatto con l'esterno, un locale al primo piano che ospita due unità di trattamento dell'aria per la mensa e l'ampio spazio distributivo centrale e un locale tecnico nell'Aula Magna, che ospita la rispettiva unità di trattamento.

	Quantità	Superficie (mq)	Totale (mq)
Centrale termica	1	16,52	16,52
Locale UTA (1P)	1	27,14	27,14
Locale UTA (Aula Magna)	1	8,25	8,25
Totale			<b>51,91</b>

### 3.2.11 Arredi e combinabilità

Si prevede di arredare ogni aula con banchi di dimensione 50 x 70 cm, gli spazi collettivi sono invece attrezzati con un tipo di arredo componibile, in modo tale da poter variare facilmente la disposizione dei tavoli a seconda dell'attività di gruppo da svolgere.



Fig. 48 – Esempio di arredo componibile – Fonte: [www.idfdesign.it](http://www.idfdesign.it)

### 3.2.12 Rispetto delle altezze minime

Tutti i locali rispettano le altezze minime previste da normativa<sup>167</sup>.

	Altezza minima (cm)	Altezza
Unità pedagogica	300	325
Laboratori	300	325
Biblioteca	300	325
Aula Magna (parte alta)	420	445
Aula Magna (parte bassa)	240	385
Spazi amministrativi	300	325
Spazi mensa	300	670

### 3.2.13 Rispetto del rapporto aeroilluminante

Tutti i locali rispettano il rapporto aeroilluminante. I servizi igienici sono dotati di un sistema di ventilazione forzata e illuminazione artificiale.

	Superficie minima richiesta (mq)	Superficie effettiva (mq)
Unità pedagogica A	8,60	12,80
Unità pedagogica B	8,70	12,80
Aula Magna	37,50	41,40
Aula di Informatica	5,87	28,60
Laboratorio di Scienze	7,76	12,20
Laboratorio Linguistico	5,82	28,60
Laboratorio Musicale	7,76	12,20
Laboratorio di Arte	16,10	24,40
Biblioteca	5,94	28,60
Zona lettura e riposo	2,72	14,30
Mensa	41,65	41,76
Cucina	5,40	6,40
Dispensa	2,73	3,20
Aula insegnanti	5,29	6,40
Aula riunioni	4,15	6,40
Segreteria	2,76	3,20
Ufficio informazioni	2,53	3,60

<sup>167</sup> tabella n.4 del D.M. del 18 dicembre 1975.

## CAPITOLO 4 – SISTEMA COSTRUTTIVO E FINITURE

### 4.1 Descrizione generale del sistema costruttivo

Per la realizzazione del progetto si è scelta una struttura portante in cemento armato.

#### 4.1.1 Solaio interpiano

Viene scelto un solaio alveolare prefabbricato in cemento armato precompresso di altezza 43 cm (+5 cm di soletta).

Le lastre, prodotte per estrusione con calcestruzzo vibrato del tipo C45/55 con classe di durabilità XC3, garantiscono un'elevata resistenza a compressione e trazione, e il loro utilizzo è consentito anche in presenza di grandi luci ed elevati sovraccarichi. I pannelli sono armati con acciaio armonico in pretensione e dotati di fresature all'estradosso in corrispondenza degli appoggi, questo consente la facile connessione con le strutture portanti e una posa in opera rapida ed economica, senza bisogno di ulteriori opere provvisorie di carpenteria o puntellature in fase di montaggio<sup>168</sup>.

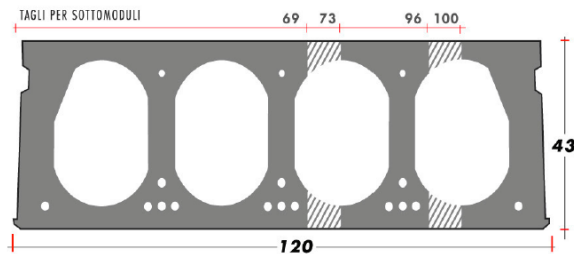


Fig. 49 - Sottomodulo di solaio Alveox 430 – Fonte: scheda tecnica (www.alveox.it)

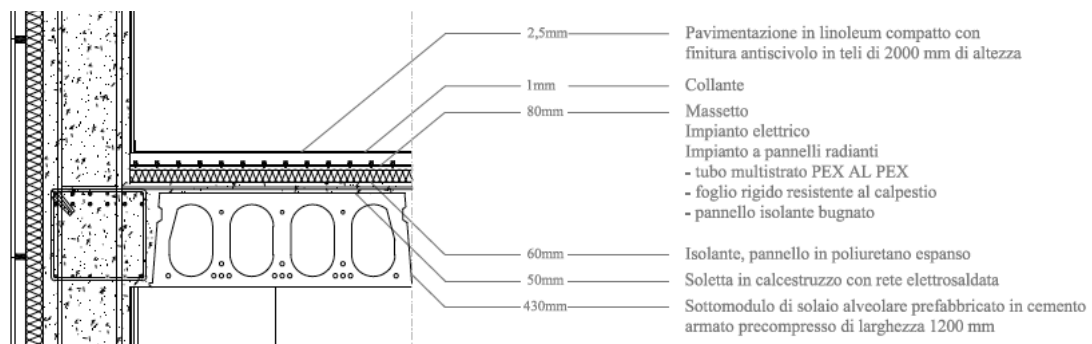


Fig. 50 – Solaio interpiano

<sup>168</sup> www.alveox.it - Alveox, modello H43.

#### 4.1.2 Solaio controterra

Rendendosi necessario realizzare un piano interrato per permettere l'ispezione, la manutenzione e l'eventuale sostituzione dei dispositivi antisismici, il solaio controterra si trova a una quota di -3,00 m rispetto al piano di calpestio del piano terra e viene realizzato con elementi in plastica, gli "Igloo", realizzati con materiali riciclabili e posati a secco, incastrati su un piano di appoggio regolare.

Stratigrafia del solaio controterra: magrone – igloo – cappa in CA – isolante – massetto – collante – pavimento in linoleum.

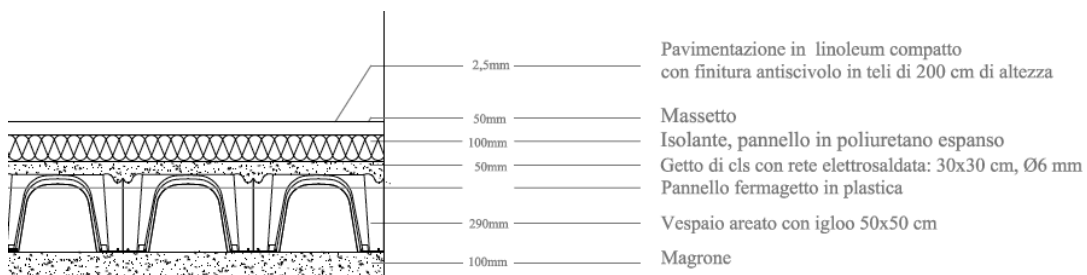


Fig. 51 – Solaio controterra

#### 4.1.3 Solaio di copertura

Per i blocchi A e B si prevede una copertura piana non praticabile con una finitura bianca riflettente che offre elevata protezione e garantisce di non raggiungere elevate temperature sotto l'irradiazione solare.

Il manto così rifinito è dotato di elevata riflessione diurna e di elevata emissione notturna che determinano un basso assorbimento di calore da parte dell'edificio. Sulla copertura dei due blocchi si dispongono anche i pannelli solari e fotovoltaici e sono presenti alcuni lucernari che illuminano i laboratori di scienze, di musica, di arte e pittura e l'aula video.

Stratigrafia del solaio di copertura (blocchi A e B): solaio alveolare prefabbricato in cemento armato precompresso – soletta in calcestruzzo – strato di pendenza in calcestruzzo – barriera al vapore – isolante termico in poliuretano espanso – membrana impermeabilizzante a base di bentonite – pittura ad alta riflettività.

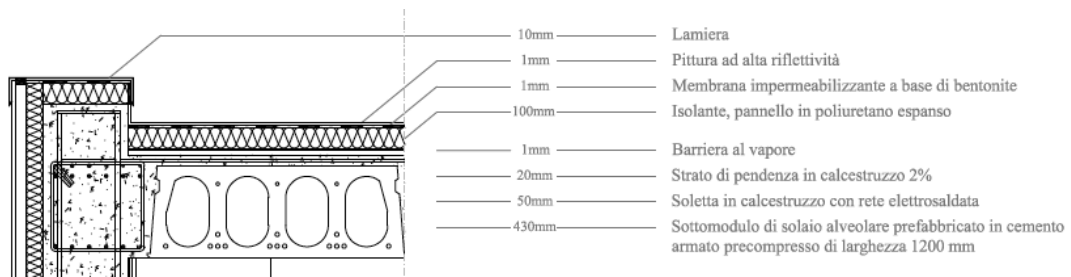


Fig. 52 – Solaio di copertura (blocchi A e B)

Per il blocco C si prevede una copertura piana a verde estensivo, che si integra con il verde circostante e i parchi adiacenti della Cittadella e del Pincio.

Tale copertura contribuisce alla riduzione del fabbisogno energetico dell'edificio che determina una minore emissione di CO<sub>2</sub>. Offre inoltre altri vantaggi: assorbe temporaneamente l'acqua piovana e la rilascia lentamente evitando gli allagamenti per tracimazione della rete fognaria, riduce la trasmissione dei rumori all'interno dell'edificio e gli effetti delle "isole di calore urbane", aumenta il volano termico e la resistenza termica della copertura, protegge il manto impermeabile e ne prolunga la durata<sup>169</sup>.

Il tetto verde estensivo non sarà accessibile e non richiederà molta manutenzione. Sulla copertura sono presenti alcuni lucernari che permettono di avere una luce zenitale nell'Aula Magna.

Stratigrafia del solaio di copertura (blocco C): solaio alveolare prefabbricato in CA - strato di pendenza - barriera al vapore - isolamento termico - impermeabilizzazione antiradice - elemento di accumulo e drenaggio dell'acqua piovana - strato filtrante - terra di coltura.

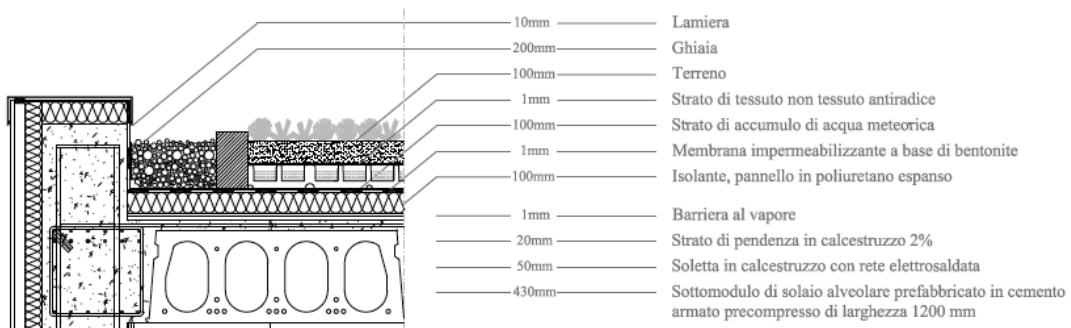


Fig. 53 – Solaio di copertura (blocco C)

<sup>169</sup> Index – capitolato tecnico 10 – Tetti verdi.

#### 4.1.4 Facciata ventilata

La facciata ventilata consiste in un particolare tipo di rivestimento delle pareti perimetrali, che prevede l'applicazione a secco di pannelli non aderenti alla struttura. L'intercapedine tra il rivestimento esterno e la parete è progettata in modo tale che l'aria possa fluire per "effetto camino" in modo naturale o artificialmente controllato, a seconda delle necessità stagionali o giornaliere, per migliorare le prestazioni termoenergetiche complessive dell'edificio<sup>170</sup>.

I vantaggi offerti da una facciata ventilata sono svariati: il movimento dell'aria all'interno dell'intercapedine contribuisce ad asciugare eventuali infiltrazioni d'acqua e ad allontanare il calore accumulato per irraggiamento sul rivestimento, lo strato coibente continuo, a copertura della parete muraria, garantisce una diminuzione della dispersione termica eliminando la presenza di ponti termici in corrispondenza di travi e pilastri di bordo ed è protetto dall'umidità proveniente dall'esterno, i pannelli possono essere facilmente sostituiti se danneggiati.

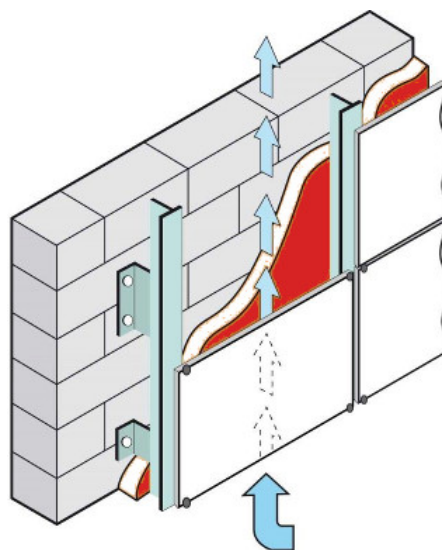


Fig. 54 – Esempio di facciata ventilata – Fonte: [www.pastoreserramenti.it](http://www.pastoreserramenti.it)

---

<sup>170</sup> Norma UNI 11018.



## 4.2 Finiture

### 4.2.1 Pannelli in alluminio

Come rivestimento della facciata ventilata si scelgono pannelli in alluminio lavorati a freddo che vengono montati a incastro manualmente in un'apposita guida modulare anch'essa in alluminio.

Il sistema di montaggio è bidirezionale, i pannelli possono essere installati dall'alto verso il basso, nel senso inverso, anche nel mezzo della facciata, indipendentemente dai pannelli adiacenti, in base ai requisiti della costruzione.

Questo sistema basato sul semplice incastro dei pannelli e sul loro montaggio libero permette di risparmiare tempo e di eseguire il montaggio seguendo l'avanzamento dei lavori. Inoltre, grazie alle molteplici varianti di colore e superficie, si ha un'ampia libertà di progettazione. I pannelli scelti sono di altezza 1 m e di lunghezza variabile, nei colori grigio platino, arancione scuro e arancione chiaro<sup>171</sup>.

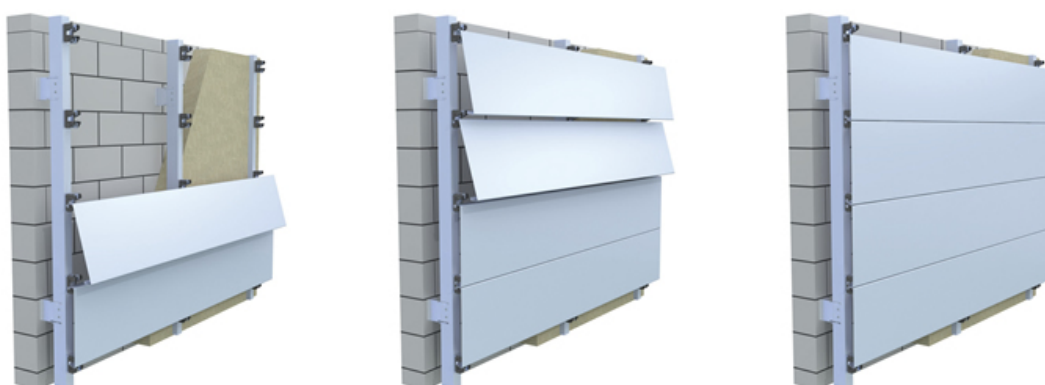


Fig. 55 – Pannelli agganciati nella sottostruttura di sistema e successivamente incastrati a pressione nella parte inferiore (montaggio dal basso verso l'alto) – Fonte: [www.kalzip.com](http://www.kalzip.com).

### 4.2.2. Frangisole

Per le facciate orientate a sud e ad est, verso le colline che circondano Ancona, sono previste ampie vetrate, schermate grazie ad un sistema di frangisole, che evita fastidiosi abbagliamenti o surriscaldamenti e consente un risparmio sul raffrescamento degli ambienti nei momenti più caldi. Le lamelle orientabili permettono di escludere o di attenuare la luce del sole nelle ore critiche,

---

<sup>171</sup> [www.kalzip.com](http://www.kalzip.com) - Sistema per facciate Kalzip FC.

evitando riflessi ed eccessivi aumenti termici, contribuendo così ad ottimizzare le condizioni interne.

Si scelgono dei frangisole a pale in alluminio, mobili e orientabili, con montanti non visibili dall'esterno per dare continuità alla facciata<sup>172</sup>.



Fig. 56 – Frangisole Ipermercato a Padova



Fig. 57 – Frangisole “Polo d'Eccellenza” a Desio

#### 4.2.3 Uso del vetro

Si è scelto il vetro come rivestimento in corrispondenza delle strutture di elevazione verticale, gli ingressi e la copertura dello spazio centrale distributivo. Si utilizzano vetri antisfondamento di classe 2B2 come prescritto dalla direttiva UNI EN 12600 nel caso di edifici scolastici.

Il rivestimento delle scale è realizzato con lastre fisse e apribili di larghezza 1,5 m e alte quanto un piano, per dare un senso di verticalità, in contrasto con l'orizzontalità del rivestimento a pannelli. Le lastre apribili sono riconoscibili dall'esterno perché leggermente inclinate rispetto alla verticale, movimentano la facciata e, essendo a vasistas, consentono il ricambio d'aria in sicurezza, senza il rischio di scavalcamenti. Le lastre in vetro sono utilizzate anche come rivestimento ai due ingressi.

Le lastre utilizzate per la copertura sono di forma quadrangolare, diverse fra loro e poggiano su un telaio in acciaio, formando una superficie ondulata.

Per evitare l'eccessivo accumulo di calore si scelgono vetri a controllo solare che, grazie ad un rivestimento a film sottile di leghe metalliche riflettono il calore del sole verso l'esterno e riducono il riflesso abbagliante causato dalla luce solare diretta. Inoltre, siccome la pulizia dei vetri potrebbe risultare

---

<sup>172</sup> [www.sunbreak.it](http://www.sunbreak.it) - Frangisole a montanti nascosti.

difficoltosa, il vetro scelto è anche autopulente grazie ad uno strato che possiede proprietà fotocatalitiche e idrofile. L'esposizione del vetro ai raggi UV porta alla rottura delle molecole dello sporco organico e rende il deposito idrofilo, in seguito, l'acqua piovana, formando un film sulla superficie vetrata e scorrendo per gravità sul vetro, consente di rimuovere lo sporco<sup>173</sup>.

#### **4.2.4 Pavimentazione**

La sicurezza degli ambienti scolastici rappresenta uno degli obiettivi primari per il progettista. Le pavimentazioni dedicate agli edifici scolastici sono studiate per ridurre al minimo le possibilità di infortunio derivanti dallo scivolamento, devono garantire l'incolumità dell'utente e preservare nel tempo le caratteristiche tecniche intrinseche del materiale di finitura. Le superfici resilienti, capaci di recuperare la forma iniziale anche dopo un'azione di compressione, sono le più indicate a soddisfare le esigenze di sicurezza, grazie alle proprietà dei materiali plastici di cui si compongono. La gomma, il linoleum e i polimeri vinilici sono in grado di garantire tali prestazioni<sup>174</sup>.

Si sceglie un pavimento in linoleum compatto con finitura antiscivolo, un prodotto con caratteristiche di naturalità, confort, durata e con una protezione della superficie forte per la resistenza all'abrasione, alle macchie e agli agenti chimici. Il materiale è eco-compatibile ed è prodotto con materie prime naturali quali: olio di lino, resina, farina di legno, farina di sughero. La finitura non necessita di ceratura o polish iniziale, diminuendo i costi del ciclo di vita per la riduzione della frequenza e dell'intensità di pulizia e di manutenzione. Il pavimento ha uno spessore di 2,5 mm ed è fornito in teli di 200 cm di altezza<sup>175</sup>.

---

<sup>173</sup> [it.saint-gobain-glass.com](http://it.saint-gobain-glass.com) – vetro autopulente e a controllo solare SGG BIOCLEAR SC II.

<sup>174</sup> Arketipo, n. 19 dicembre 2007, Scuole e asili – Pavimenti sicuri, p. 97.

<sup>175</sup> [www.tarkett.com](http://www.tarkett.com) - pavimento in linoleum del tipo Veneto Sicuro XF di Tarkett Spa.

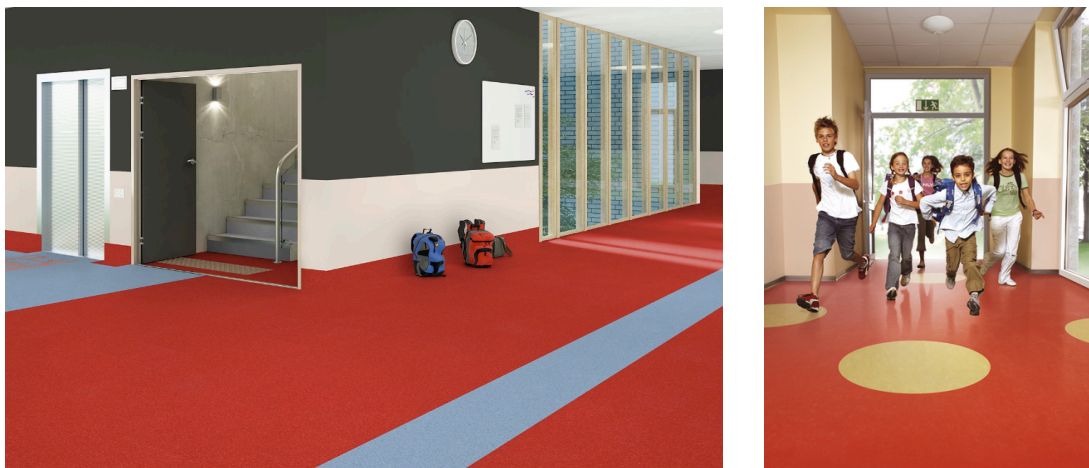


Fig. 58 e Fig. 59 – Esempi di pavimentazione in linoleum – Fonte: [www.tarkett.com](http://www.tarkett.com)

#### 4.2.5 Forme e colori

Come affermava Loris Malaguzzi<sup>176</sup> *“l’ambiente è il terzo educatore”*, la comunicazione visiva, soprattutto nelle architetture dedicate ai bambini, risulta essere fondamentale.

I bambini non sono in grado di percepire spazi, forme e colori come gli adulti, poiché la comprensione di essi progredisce con l’età. Durante la crescita si possono distinguere varie tappe, ognuna delle quali corrisponde ad un livello di percezione sempre più evoluto. Appena nato il bambino preferisce figure piatte, semplici, molto definite e contrastate, solo crescendo preferirà forme più complesse, delle quali riuscirà ad apprezzare volumi e sfumature<sup>177</sup>.

Nella progettazione bisogna tenere presente la relazione tra il numero dei colori e la varietà dei materiali da utilizzare. Spazi ricchi di forme devono essere caratterizzati da pochi colori e materiali, per non ottenere un’ambiente troppo difficile da abitare. Mantenendo bassa la complessità degli spazi si ridurrà l’affaticamento visivo ed il rumore di fondo<sup>178</sup>.

Di conseguenza la progettazione del colore così come quella delle forme, deve favorire la comprensione dello spazio, e deve essere adeguata alle capacità visive e cognitive del bambino, che, come si è detto, variano con l’età.

<sup>176</sup> Pedagogista e insegnante, fondatore della filosofia educativa “Reggio approach”.

<sup>177</sup> Studio Francesca Valan per Ceramica Vogue, Il colore nelle scuole, pag. 4.

<sup>178</sup> *Ibidem*, p. 10 e 11.

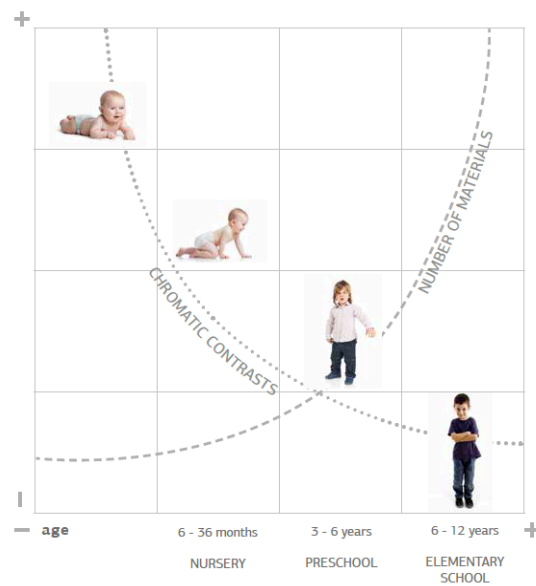
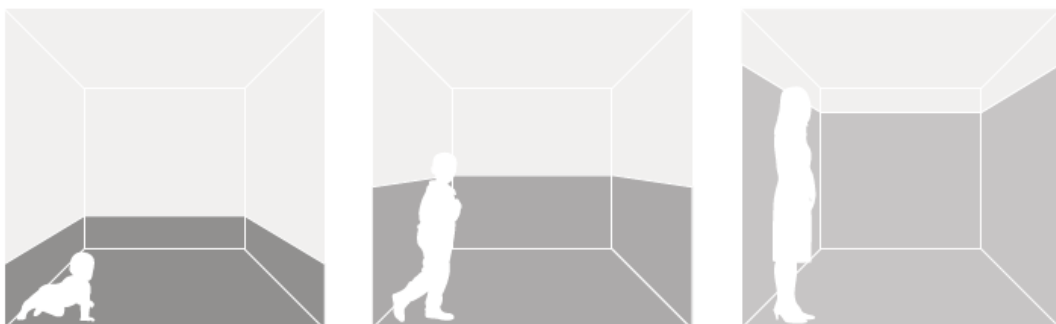


Fig. 60 – Relazione tra capacità visive ed età – Fonte: Studio Francesca Valan

Anche l'altezza dell'orizzonte visivo cambia con la crescita: se consideriamo un bambino che ancora non cammina, la linea d'orizzonte è molto bassa, e il pavimento occupa gran parte dello spazio visivo.

La linea d'orizzonte, in quanto ridimensiona gli spazi in correlazione all'altezza dei fruitori, deve essere considerata quando si rifiniscono le pareti interne delle aule dedicate ai bambini. Per gli uffici e le aule insegnanti, si può fare riferimento unicamente all'altezza degli adulti, essendo questi i fruitori principali. Generalmente per semplificare gli spazi, la linea d'orizzonte deve essere allineata a riferimenti preesistenti, quali l'altezza delle finestre, delle porte o degli arredi<sup>179</sup>.



<sup>179</sup> *Ibidem*, p. 12.



Fig. 61 – Altezza dell’orizzonte – Photo: Studio Francesca Valan per Ceramica Vogue

Frank H. Mahnke<sup>180</sup> parte dal principio secondo cui *“un ambiente impersonale induce sempre una reazione. Nel caso specifico un’aula spoglia di piaceri visivi o di manifestazioni di sollecitudine verso i bambini incanala i sentimenti di questi ultimi verso l’irritabilità e l’irrequietezza”*.

Nei luoghi ad uso collettivo, l’applicazione di determinati colori può produrre effetti positivi, per questo la scelta di essi deve essere conforme all’attività svolta all’interno dell’ambiente.

Nei luoghi di lavoro, la scelta che porta all’equilibrio tra spazio, luce e tonalità, può portare ad un minore dispendio di energia umana e, dunque, ad un miglior rendimento mentale. All’interno delle scuole si possono avere svariati vantaggi grazie ad una ottimale scelta dei colori: migliore socialità, entusiasmo nel lavoro, nello studio e diminuzione dell’assenteismo.

Occorre ricordare che i bambini trascorrono molte ore delle loro giornate a scuola, per questo motivo bisogna cercare di creare un ambiente capace di indurre adeguate sensazioni di comfort psicologico, in modo da risultare gradevole.

I colori permettono di realizzare questo obiettivo, poiché stimolano la parte più istintiva della mente dei bambini e possono condizionarli positivamente nelle varie attività e invogliarli alla frequenza.

In particolare sono consigliate tutte le tinte calde e vivaci, legate all’indole estroversa dei più piccoli. Tale scelta riduce la tendenza dei bambini a provare

<sup>180</sup> Studioso e Presidente dell’Associazione Internazionale del Colore.

ansia, nervosismo e tensione. I colori consigliati sono infatti salmone chiaro, giallo tenue e caldo, giallo-arancione pallido, il corallo e il color pesca. Da evitare invece i colori usati più frequentemente quali grigi, bruni, beige, verdoni, troppo tenui o troppo scuri, perché risultano essere monotoni e possono portare frustrazione e depressione<sup>181</sup>.

All'interno della scuola si scelgono quindi diversi colori a seconda delle funzioni degli ambienti. Si opta per il giallo all'interno delle aule, che conferisce una sensazione di sicurezza. È un colore stimolante ma non eccitante, che favorisce l'attività mentale, le capacità logiche e l'operosità, facendo dimenticare la fatica e la sonnolenza.

Per le pareti della mensa è stato scelto un arancio, colore che stimola l'appetito, la socievolezza e la fiducia in sé stessi, per i luoghi in cui si prepara e cuoce il cibo sono stati scelti i bianchi<sup>182</sup>.

I colori delle pareti delle zone dedicate alle attività di riposo e lettura dovrebbero creare un ambiente calmante e rassicurante, per questo motivo, sono stati preferiti colori chiari, in particolare tonalità di verde e di azzurro. In cromoterapia infatti, si ritiene che queste due tonalità, rappresentando la natura, abbiano proprietà rilassanti e permettano di migliorare la concentrazione.

#### **4.2.6 Illuminazione**

Occorre fare molta attenzione al tipo e alla qualità d'illuminazione degli ambienti scolastici e, almeno nelle aule e nelle sale di lettura, è consigliabile l'utilizzo di una luce a pieno spettro<sup>183</sup>. Alcuni studi hanno dimostrato che qualsiasi eventuale disturbo visivo si ripercuote inevitabilmente sul rendimento scolastico: un comportamento particolarmente agitato, sia sul piano mentale sia su quello fisico, può essere causato da un'illuminazione artificiale fortemente

---

<sup>181</sup> Studi e ricerche a cura di Heinrich Frieling e Harry Wohlfarth.

<sup>182</sup> Studio Francesca Valan per Ceramica Vogue, Il colore nelle scuole, pag. 30 e 32.

<sup>183</sup> Fonte di luce simile alla luce naturale.

deviante da quella naturale. L'uso di una luce a pieno spettro favorisce invece una diminuzione dell'iperattività<sup>184</sup>.

Per la realizzazione del progetto sono quindi state scelte lampade a spettro completo<sup>185</sup>.

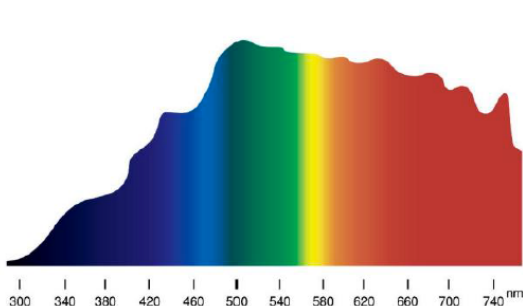


Fig. 62 – Composizione spettrale della luce diurna

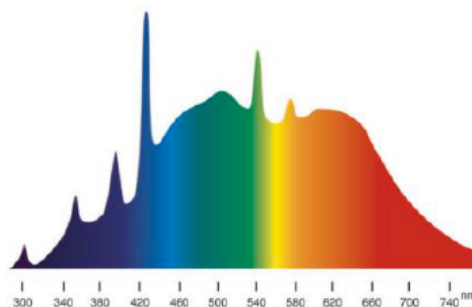


Fig. 63 – Luce a spettro completo

#### 4.2.7 Isolamento acustico

Le qualità acustiche di un ambiente contribuiscono al benessere delle persone che lo vivono e per questo motivo un'opportuna correzione acustica dovrebbe essere parte integrante del progetto di un edificio, soprattutto se questo è destinato a scuola.

La cattiva acustica di un ambiente è determinata da due fattori: la presenza di rumore di fondo, determinato dal contesto in cui l'edificio è inserito e la riverberazione (effetto eco). Se questi due fattori sono fuori controllo la comunicazione diviene difficoltosa e i fruitori saranno costretti a dover alzare la voce per farsi sentire e dovranno sforzarsi di ascoltare<sup>186</sup>.

Per garantire valori ottimali di tempo di riverberazione e ridurre il rumore di fondo si è scelto di controsoffittare i locali con pannelli fonoassorbenti in sughero, disponibili in diverse tonalità cromatiche<sup>187</sup>.

I pannelli sono ancorati al solaio grazie a dei pendini e a delle strutture metalliche a sezione a T in acciaio zincato.

<sup>184</sup> Studi e ricerche a cura di Harry Wohlfarth e Ellen Grangaard.

<sup>185</sup> [www.light-full.com](http://www.light-full.com) - Lampade a spettro completo TRUE-LIGHT®.

<sup>186</sup> AudioDinamika, n. 1 febbraio 2009, Una scuola per amico. Progettare e costruire una scuola: una sfida raccolta con successo, p. 5.

<sup>187</sup> [www.coverd.it](http://www.coverd.it) - Pannelli fonoisolanti Kontro di Coverd.





Fig. 64 e Fig. 65 – Esempio di pannelli fonoassorbenti in sughero – Fonte: [www.coverd.it](http://www.coverd.it)

#### 4.2.8 Isolamento termico

Il territorio italiano è suddiviso in 6 zone climatiche, in funzione dei gradi giorno<sup>188</sup> di ogni Comune.

L'edificio si trova in zona climatica D e pertanto sarà necessario che le trasmittanze termiche delle strutture componenti l'involucro edilizio rispettino i valori presenti in normativa<sup>189</sup>.

Per evitare che i valori di trasmittanza in corrispondenza della parete e del pilastro differiscano troppo fra loro, per rivestire il pilastro si sceglie un isolante con prestazioni migliori.

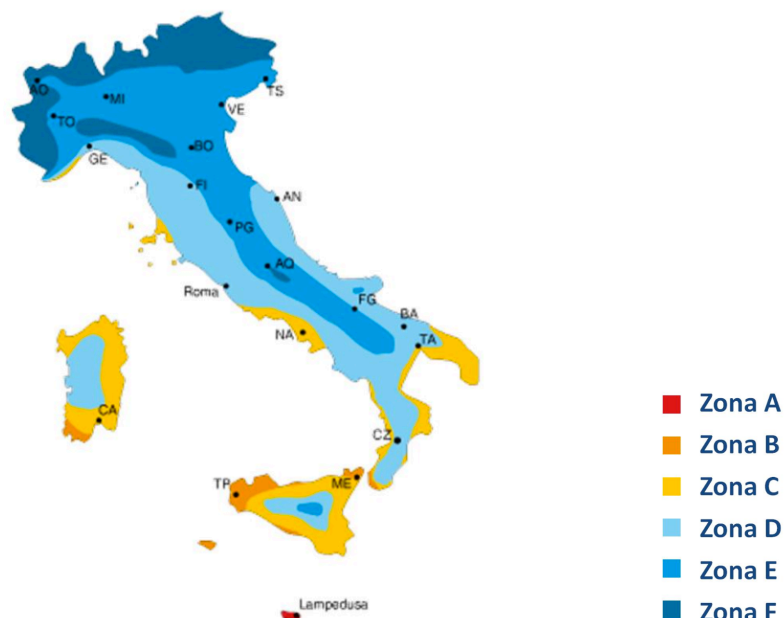


Fig. 66 – Zone climatiche in Italia – Fonte: [www.luce-gas.it](http://www.luce-gas.it)

<sup>188</sup> Gradi giorno: somma, estesa a tutti i giorni dell'anno, della differenza tra la temperatura dell'ambiente interno (20 °C) e la temperatura media esterna giornaliera.

<sup>189</sup> D.M. 11-03-2008 coordinato con D.M. 26-01-2010, allegato B.

ZONA CLIMATICA	STRUTTURE OPACHE VERTICALI	STRUTTURE OPACHE ORIZZONTALI O INCLINATE		CHIUSURE APRIBILI E ASSIMILABILI
		coperture	pavimenti	
<b>A</b>	0,54	0,32	0,60	3,7
<b>B</b>	0,41	0,32	0,46	2,4
<b>C</b>	0,34	0,32	0,40	2,1
<b>D</b>	0,29	0,26	0,34	2,0
<b>E</b>	0,27	0,24	0,30	1,8
<b>F</b>	0,26	0,23	0,28	1,6

Valori limite della trasmittanza termica delle strutture espressi in  $W/m^2K$  – Fonte: D.M. 11-03-2008 coordinato con D.M. 26-01-2010, allegato B.

Si scelgono pannelli isolanti adatti ad essere integrati nella facciata ventilata e realizzati in poliuretano espanso rigido<sup>190</sup>.

<b>PILASTRO</b>		<b>[m]</b>		<b>[W/mK]</b>		<b>[W/m<sup>2</sup>K]</b>
intonaco interno	s1	0,015	11	0,7	U1	46,67
cemento armato	s2	0,4	12	2,3	U2	5,75
isolante	s3	0,08	13	0,023	U3	0,29
pannelli alluminio	s4	0,02	14	210	U4	10500

La trasmittanza della parete in corrispondenza dei pilastri vale  $0,27 W/m^2K < 0,29 W/m^2K$ .

<b>PARETE</b>		<b>[m]</b>		<b>[W/mK]</b>		<b>[W/m<sup>2</sup>K]</b>
intonaco interno	s1	0,015	11	0,7	U1	46,67
cartongesso	s2	0,015	12	0,21	U2	14,00
intercapedine aria	s3	0,145	13	0,17	U3	1,17
blocco laterizio	s4	0,24	14	0,25	U4	1,04

<sup>190</sup> [www.rockwool.it](http://www.rockwool.it) e [www.isotec.it](http://www.isotec.it)

isolante	s5	0,08	15	0,034	U5	0,43
pannelli alluminio	s6	0,02	16	210	U6	10500

La trasmittanza della parete in corrispondenza dei pannelli in alluminio vale  $0,24 \text{ W/m}^2\text{K} < 0,29 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

<b>SOLAIO DI COPERTURA</b>		<b>[m]</b>		<b>[W/mK]</b>		<b>[W/m<sup>2</sup>K]</b>
solaio prefabbricato	s1	0,43	11	2,3	U1	5,35
massetto cls	s2	0,05	12	0,45	U2	9,00
strato di pendenza	s3	0,02	13	0,45	U3	22,5
barriera al vapore	s4	0,02	14	-	U4	-
isolante	s5	0,1	15	0,023	U5	0,23
membrana impermeabilizzante	s6	0,001	16	-	U6	-

La trasmittanza del solaio di copertura vale  $0,21 \text{ W/m}^2\text{K} < 0,26 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

<b>SOLAIO INTERPIANO</b>		<b>[m]</b>		<b>[W/mK]</b>		<b>[W/m<sup>2</sup>K]</b>
solaio prefabbricato	s1	0,43	11	2,3	U1	5,35
massetto cls	s2	0,05	12	0,45	U2	9,00
isolante	s3	0,06	13	0,023	U3	0,38
massetto con impianti	s4	0,08	14	0,45	U4	5,63
pavimento in linoleum	s5	0,0025	15	-	U5	-

La trasmittanza del solaio interpiano vale  $0,32 \text{ W/m}^2\text{K} < 0,34 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

#### 4.2.9 Infissi e sistema di oscuramento

Si scelgono infissi in alluminio a taglio termico. In alcuni ambienti, come l'aula video e l'Aula Magna ma anche nelle unità pedagogiche, si rende necessario installare un sistema di oscuramento. Si scelgono tende oscuranti a rullo

elettriche che garantiscono l'oscuramento totale anche in pieno giorno e un buon isolamento termico<sup>191</sup>.

---

<sup>191</sup> [www.velux.it](http://www.velux.it)

## CAPITOLO 5

### SISTEMA DI ISOLAMENTO SISMICO

#### 5.1 Isolamento sismico

##### 5.1.1 Cenni storici

L'idea di isolare le strutture per proteggerle dagli eventi sismici non è recente, il concetto di isolamento sismico trovava applicazione già presso alcune antiche civiltà, in Cina, Grecia, Perù e Italia. Per favorire lo scorrimento tra la costruzione e il terreno venivano infatti inseriti sotto le fondazioni strati di carbone, velli di lana e pelli<sup>192</sup>.

All'inizio dello secolo scorso, in seguito al terremoto di Messina, furono depositati numerosi brevetti di sistemi di isolamento sismico, ma le prime applicazioni moderne videro la luce solo negli anni '70, con la costruzione della scuola elementare Pestalozzi di Skopje, realizzata con isolatori in gomma, e con l'isolamento sismico di alcune centrali nucleari francesi<sup>193</sup>.

La tecnica dell'isolamento sismico fu introdotta in Italia dopo il terremoto del Friuli (1976), fu applicata prevalentemente a ponti e viadotti e solo successivamente iniziò ad essere utilizzata anche negli USA, in Giappone e in Nuova Zelanda. Furono le ricerche e gli studi condotti a partire dagli anni '80, corroborati dalle prime evidenze dell'ottimo comportamento delle strutture isolate sotto l'azione di terremoti di una certa intensità, a dare un forte impulso alla diffusione dell'isolamento sismico<sup>194</sup>.

In Italia, a causa sia della mancanza di una normativa di riferimento, sia dell'iter complesso di approvazione dei progetti, il numero di applicazioni agli edifici è cresciuto lentamente: nel 2003 si contavano solo 25 strutture isolate

---

<sup>192</sup> Dolce M., Ponzo F.C., Di Cesare A., Arleo G., Progetto di Edifici con Isolamento Sismico, IUSS Press, p. 47.

<sup>193</sup> *Ibidem*, p.47.

<sup>194</sup> *Ibidem*, p.48.

sismicamente. L'entrata in vigore della nuova normativa<sup>195</sup> e ulteriori ricerche volte a verificare l'efficacia dell'isolamento sismico e a sperimentare nuove tecnologie per dispositivi e sistemi di isolamento, hanno favorito nuove progettazioni ed adeguamenti sismici<sup>196</sup>. Attualmente si contano più di 250 edifici isolati, grazie principalmente al "Progetto C.A.S.E", complesso dotato di 185 piattaforme isolate sismicamente.

### **5.1.2 Funzionamento dei sistemi di isolamento**

Le strutture fisse, progettate secondo le recenti norme sismiche, resistono alle accelerazioni dovute a terremoti anche violenti, grazie ai principi della gerarchia della resistenza applicati, che portano ad aumentare la duttilità della struttura. Ma accettare elevate richieste di duttilità, significa ammettere danni, anche consistenti, agli elementi strutturali in caso di sisma medio-elevato, con il rischio di avere notevoli costi di riparazione e un'interruzione dell'utilizzo dell'edificio, che potrebbe comportare ulteriori perdite economiche<sup>197</sup>.

A differenza dell'approccio convenzionale, l'isolamento sismico permette di affrontare il problema a monte, riducendo le forze sismiche trasmesse alla struttura, che vengono assorbite proprio dal sistema di isolamento. Il risultato si ottiene grazie alla presenza di una "sconnessione" orizzontale fra la struttura e la fondazione, che porta a disaccoppiare il moto del terreno da quello della struttura, allo scopo di migliorare la risposta dell'edificio nei confronti delle azioni sismiche orizzontali<sup>198</sup>.

---

<sup>195</sup> OPCM n. 3247 del 20 marzo 2003 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica".

<sup>196</sup> Dolce M., Ponzo F.C., Di Cesare A., Arleo G., Progetto di Edifici con Isolamento Sismico, IUSS Press, p. 52.

<sup>197</sup> *Ibidem*, p. 3.

<sup>198</sup> *Ibidem*, p. 5.

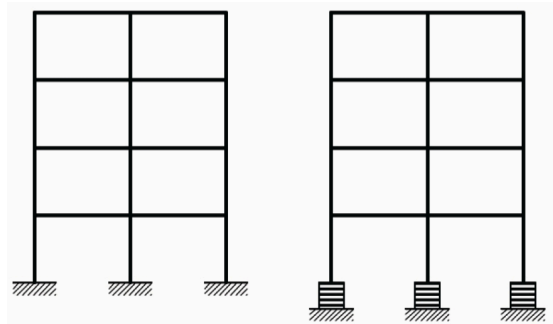


Fig. 67 – Edificio a base fissa ed edificio a base mobile – Fonte: [www.dica.unict.it](http://www.dica.unict.it)

Il sistema di isolamento è attivo sulla superficie che è definita “interfaccia di separazione” e divide la “sottostruttura”, ovvero la parte che include le fondazioni, direttamente soggetta agli spostamenti del movimento sismico del terreno, dalla “sovrastuttura”, la parte posta invece al di sopra dell’interfaccia e quindi isolata<sup>199</sup>.

La continuità strutturale e la trasmissione dei carichi verticali sono garantite dagli isolatori, dispositivi di appoggio caratterizzati da un’elevata deformabilità e/o una bassa resistenza al moto orizzontale e da una notevole rigidità verticale<sup>200</sup>.

La strategia di protezione con isolamento sismico più frequentemente utilizzata è basata sull’incremento del periodo e si serve degli isolatori a comportamento quasi-elastico, che dissipano per isteresi una consistente parte dell’energia trasmessa dal terreno alla costruzione<sup>201</sup>.

Il periodo proprio delle strutture fisse alla base cade frequentemente fra 0,2 e 0,8 secondi e coincide in genere con i periodi associati alle forti accelerazioni della maggior parte dei terremoti, mentre l’introduzione del sistema di isolamento porta il periodo fondamentale del sistema strutturale in una zona dello spettro a minor accelerazione. Ciò comporta la trasmissione di minori accelerazioni sulla struttura isolata e un aumento dello spostamento, che però si concentra sul sistema di isolamento, molto deformabile. Gli spostamenti relativi

<sup>199</sup> D.M. 14-01-2008 “Norme Tecniche per le Costruzioni”, par. 7.10.2.

<sup>200</sup> Dolce M., Ponzo F.C., Di Cesare A., Arleo G., Progetto di Edifici con Isolamento Sismico, IUSS Press, p. 5.

<sup>201</sup> *Ibidem*, p.7.

interpiano della sovrastruttura invece restano contenuti, ciò porta a ridurre o eliminare i danni agli elementi non strutturali della costruzione<sup>202</sup>.

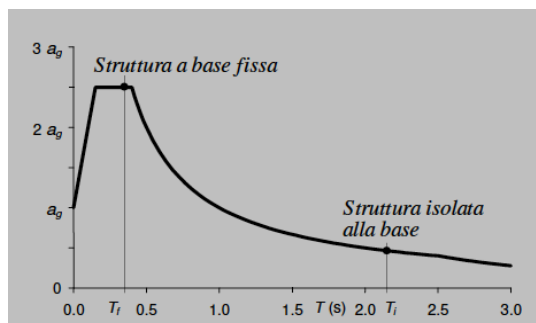


Fig. 68 – Spettro di risposta in termini di accelerazione – Fonte: [www.dica.unict.it](http://www.dica.unict.it)

### 5.1.3 Benefici e costi

I benefici derivati dall'applicazione delle tecniche di isolamento sismico sono molteplici. Anche in caso di terremoto violento, la forte riduzione delle sollecitazioni sismiche sulla sovrastruttura evita il danneggiamento degli elementi strutturali, mentre la drastica diminuzione degli spostamenti interpiano riduce o elimina i danni agli elementi non strutturali, garantendo la piena operatività dell'edificio. Inoltre in un edificio isolato sismicamente gli occupanti avranno una percezione minore delle scosse sismiche<sup>203</sup>.

I costi iniziali per la costruzione di un edificio isolato sono nel complesso di poco superiori a quelli necessari per realizzare lo stesso edificio a base fissa. Questi però possono essere ammortizzati poiché, in caso di sisma, la spesa per la riparazione dei danni della struttura isolata è decisamente inferiore rispetto a quella della normale struttura antisismica<sup>204</sup>. Il vantaggio economico aumenta nel caso di terremoti di forte intensità: prove sperimentali dimostrano che sismi violenti portano le strutture fisse alla base vicine al collasso, mentre le isolate non subiscono danni sostanziali nemmeno alle parti non strutturali<sup>205</sup>.

I vantaggi sono ancora più apprezzabili se gli edifici svolgono una funzione pubblica, se devono rimanere operativi dopo il terremoto oppure se il contenuto

---

<sup>202</sup> *Ibidem*, p.6.

<sup>203</sup> *Ibidem*, p.7.

<sup>204</sup> *Ibidem*, p.8.

<sup>205</sup> *Ibidem*, p.59.



ha un valore superiore a quello della struttura stessa o ancora nel caso di siti ad alto rischio come impianti chimici e centrali nucleari<sup>206</sup>.

#### **5.1.4 Dispositivi di isolamento**

I dispositivi di isolamento o isolatori sono apparecchi di appoggio generalmente bidirezionali, con elevata rigidità in direzione verticale ed elevata deformabilità in direzione orizzontale. Ne esistono di due tipologie: elastomerici e a scorrimento.

Questi dispositivi devono essere fissati al diaframma rigido superiore e a quello inferiore, entrambi costituiti da una platea o da una griglia di travi, e devono essere ispezionabili e sostituibili, inoltre devono espletare le seguenti funzioni:

- sostegno dei carichi gravitazionali in condizioni di riposo e sismiche;
- essere deformabili in direzione orizzontale sotto azioni sismiche;
- consentire la dissipazione di energia con meccanismi isteretici e/o viscosi;
- resistere ai carichi orizzontali non sismici;

Inoltre il sistema dovrebbe possedere la capacità di ricentraggio, in modo che gli spostamenti residui al termine del sisma siano nulli o trascurabili<sup>207</sup>.

Altre caratteristiche che il sistema dovrebbe possedere sono la durabilità, la facilità di installazione, l'ingombro limitato e i costi contenuti. Se l'isolatore non assolve tutte le funzioni precedentemente espresse, può essere necessario ricorrere a dispositivi ausiliari con funzioni di dissipazione di energia e/o ricentraggio del sistema e/o vincolo laterale sotto carico orizzontale non sismico<sup>208</sup>.

##### **5.1.4.1 Isolatori elastomerici**

Gli isolatori elastomerici sono realizzati con strati in elastomero di spessore compreso tra 5-20 mm a cui sono interposti lamierini in acciaio dello spessore di 2-3 mm, con funzioni di confinamento dell'elastomero.

---

<sup>206</sup> *Ibidem*, p.8.

<sup>207</sup> D.M. 14-01-2008 "Norme Tecniche per le Costruzioni", par. 7.10.4.1 e par. 11.9.

<sup>208</sup> *Dolce M., Ponzo F.C., Di Cesare A., Arleo G.*, Progetto di Edifici con Isolamento Sismico, IUSS Press, p. 21.

In commercio esistono tre tipi di isolatori elastomerici: in gomma armata a basso smorzamento, in gomma armata ad elevato smorzamento e in gomma armata con nucleo di piombo.

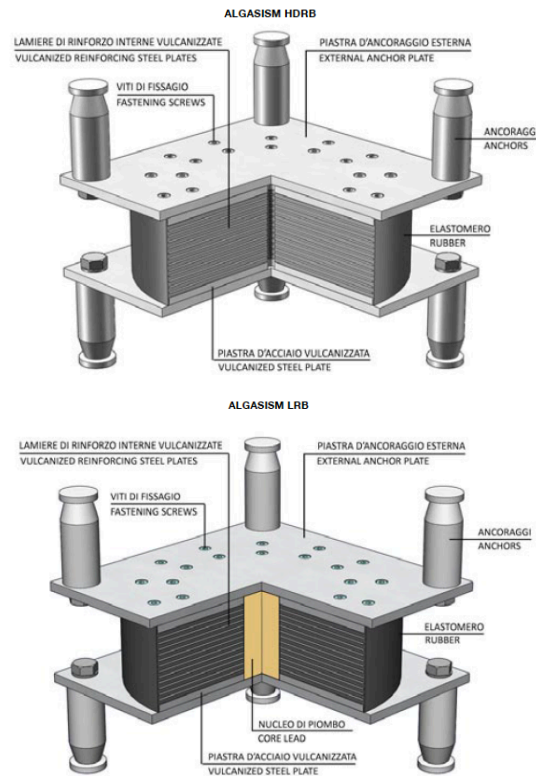
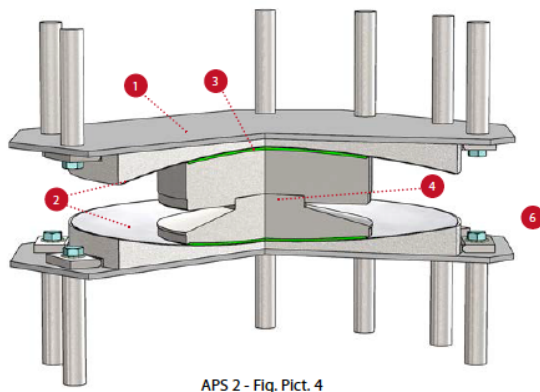


Fig. 69 e Fig. 70 – Isolatori elastomerici – Fonte: [www.alga.it](http://www.alga.it)

#### 5.1.4.2 Isolatori a scorrimento

Gli isolatori a scorrimento sono composti da due o più dischi che scorrono l'uno sull'altro, le loro superfici sono realizzate con materiali con bassi valori di resistenza per attrito, i più utilizzati sono l'acciaio inossidabile lucidato e il PTFE (Teflon). Gli unici isolatori che possiedono funzioni ricentranti e dissipative e non necessitano l'aggiunta di altri elementi sono quelli con superfici di scorrimento curve. Il più noto è il *Friction Pendulum* che, grazie alle superfici di scorrimento sferiche non lubrificate, è in grado di dissipare energia.



- 1- Piastra superiore di ancoraggio
- 2- Superficie di scorrimento principale
- 3- Materiale di scorrimento
- 4- Articolazione di rotazione
- 5- Superficie di scorrimento secondaria di rotazione
- 6- Piastra inferiore di ancoraggio

APS 2 - Fig. Pict. 4

Fig. 71 – Isolatore a scorrimento – Fonte: [www.alga.it](http://www.alga.it)

## 5.2 Progettazione strutturale del sistema di isolamento

Trattandosi di un edificio pubblico suscettibile di affollamento, situato in un territorio a media sismicità, si sceglie di isolare alla base la struttura con isolatori elastomerici.

### 5.2.1 Geometria

Gli isolatori sono disposti sotto ciascun pilastro della costruzione.

Il livello d'imposta delle fondazioni è collocato ad una profondità di 3,00 m rispetto al primo solaio per realizzare un piano interrato che permetta l'ispezione e la manutenzione dei dispositivi come richiesto dalla normativa<sup>209</sup>.

### 5.2.2 Dettagli costruttivi

I dettagli costruttivi sono progettati con riferimento alle prescrizioni relative alle strutture in zona sismica 4, perché le richieste di duttilità agli elementi strutturali sono nulle o molto limitate.

### 5.2.3 Analisi dei carichi

La struttura portante dell'edificio è costituita da un telaio in calcestruzzo armato, i solai sono in cemento armato precompresso alveolare e consentono di coprire ampie luci senza appoggi intermedi (12,60 m per il blocco A e 14,40 m per il blocco B).

<sup>209</sup> D.M. 14-01-2008 "Norme Tecniche per le Costruzioni", par. 7.10.7.

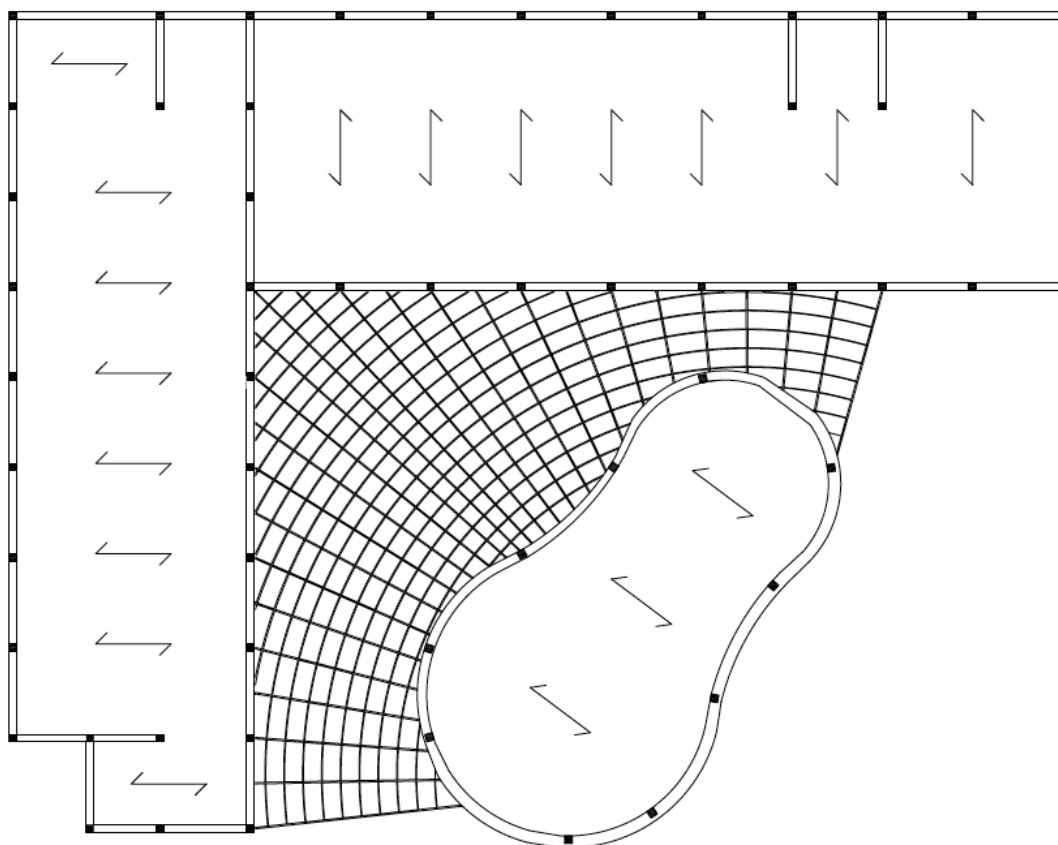


Fig. 72 – Pianta dell’orditura dei solai

La valutazione dei carichi e dei sovraccarichi è stata effettuata in accordo con le disposizioni del Decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti del 14 gennaio 2008 “Norme Tecniche per le Costruzioni”.

Di seguito viene riportata l’analisi dei carichi dei singoli “pacchetti”.

### 5.2.3.1 Carichi permanenti

<b>SOLAIO INTERPIANO</b>	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	s [m]	$g_1$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$g_2$ [kN/m <sup>2</sup> ]
Peso proprio solaio		0,43	5,15	
Soletta in cls	24	0,05		1,20
Sovraccarico impianti				1,00
Massetto				0,80
Pavimento (linoleum)				0
Intonaco				0,20
Incidenza tramezze				2,00
<b>Totale</b>			<b>5,15</b>	<b>5,20</b>
<b>Totale G</b>				<b>10,35</b>

TRAMEZZA	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	s [m]	$g_1$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$g_2$ [kN/m <sup>2</sup> ]
Intonaco	20	0,01		0,2
Fodera in laterizio	11	0,08		0,88
Intonaco	20	0,01		0,2
<b>Totale G</b>				<b>1,28</b>

Il totale del peso del divisorio risulta  $G_k = 1,28 \text{ kN/m}^2$ . Considerando un'altezza di 3,70 m il peso a metro lineare risulta essere 4,74 kN/m.

In accordo con il 3.1.3.1. delle NTC08 il peso proprio di elementi divisorii interni viene ragguagliato ad un carico permanente portato uniformemente distribuito  $g_{2k}$ . Il carico uniformemente distribuito  $g_{2k}$  dipende dal peso proprio per unità di lunghezza  $G_{2k}$  delle partizioni, per elementi divisorii con  $4,00 \leq G_2 \leq 5,00 \text{ kN/m}$ :  $g_2 = 2,00 \text{ kN/m}^2$ . Il carico uniformemente distribuito delle tramezze è quindi assunto pari a 2,0 kN/m<sup>2</sup>.

<b>TAMPONATURA ESTERNA</b>	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	s [m]	$g_1$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$g_2$ [kN/m <sup>2</sup> ]
Pannello in alluminio	27	0,01		0,27
Isolante	0,9	0,08		0,072
Fodera in laterizio	17	0,24		4,08
Cartongesso	9	0,015		0,135
Intonaco interno	20	0,01		0,2
<b>Totale G</b>				<b>4,76</b>

Considerando un'altezza interpiano di 3,70 m, il peso proprio delle tamponature sarà:

$$4,76 \cdot 3,70 = 17,61 \text{ kN/m}$$

Considerando la presenza di aperture pari indicativamente al 30% della facciata:

$$12,33 \text{ kN/m}$$

<b>SOLAIO DI COPERTURA (blocco A e B)</b>	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	s [m]	$g_1$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$g_2$ [kN/m <sup>2</sup> ]
Intonaco interno	20	0,01		0,2
Solaio alveolare		0,43	5,15	
Soletta in cls	24	0,05		1,20
Strato di pendenza	16	0,02		0,32
Isolante	0,9	0,1		0,09
Membrana impermeabilizzante	0	0,001		0
Vasche raccolta acqua	10	0,1		1
Filtro antiradice (polipropilene)	0	0,001		0
Terreno vegetale umido	16	0,1		1,6
<b>Totale G</b>				<b>9,56</b>

<b>SOLAIO DI COPERTURA (blocco C)</b>	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	s [m]	$g_1$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$g_2$ [kN/m <sup>2</sup> ]
Intonaco interno	20	0,01		0,2
Solaio alveolare		0,43	5,15	
Soletta in cls	24	0,05		1,20
Strato di pendenza	16	0,02		0,32
Isolante	0,9	0,1		0,09
Membrana impermeabilizzante	0	0,001		0
Vasche raccolta acqua	10	0,1		1
Filtro antiradice (polipropilene)	0	0,001		0
Terreno vegetale umido	16	0,1		1,6
<b>Totale G</b>				<b>9,56</b>

<b>SCALE</b>	peso [kN/m <sup>3</sup> ]	spessore [m]	$g_1$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$g_2$ [kN/m <sup>2</sup> ]
Alzata		0,16		
Pedata		0,30		
Soletta	25	0,20	5,0	
Gradino	14			1,120
Intonaco	14	0,02		0,317
Ringhiera				0,500
Totale			5,0	1,94
<b>Totale G</b>				<b>6,94</b>

<b>PIANEROTTOLO</b>	peso [kN/m <sup>3</sup> ]	spessore [m]	g <sub>1</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	g <sub>2</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]
Soletta	25	0,2	5,00	
Intonaco	14	0,02		0,28
Totale			5,0	0,28
<b>Totale G</b>				<b>5,28</b>

### 5.2.3.2 Carichi variabili

I carichi variabili Q sono uniformemente distribuiti e individuati in base alla categoria dell'edificio, secondo quanto stabilito nella tabella 3.1.II delle NTC08.

Tabella 3.1.II – Valori dei carichi d'esercizio per le diverse categorie di edifici

<b>CAT.</b>	<b>AMBIENTI</b>	<b>q<sub>k</sub> [kN/m<sup>2</sup>]</b>	<b>Q<sub>k</sub> [kN]</b>	<b>H<sub>k</sub> [kN/m]</b>
<b>A</b>	<b>ambienti ad uso residenziale</b> Sono compresi in questa categoria i locali di abitazione e relativi servizi, gli alberghi. (ad eccezione delle aree suscettibili di affollamento)	2,00	2,00	1,00
	<b>uffici</b> <b>Cat. B1</b> uffici non aperti al pubblico <b>Cat. B2</b> uffici aperti al pubblico	2,00 3,00	2,00 2,00	1,00 1,00
<b>C</b>	<b>ambienti suscettibili di affollamento</b> <b>Cat. C1</b> Ospedali, ristoranti, caffè, banche, scuole	3,00 4,00	2,00 4,00	1,00 2,00
	<b>Cat. C2</b> balconi, ballatoi e scale comuni, sale convegni, cinema, teatri, chiese, tribune con posti fissi	5,00	5,00	3,00
	<b>Cat. C3</b> ambienti privi di ostacoli per il libero movimento delle persone, quali musei, sale per esposizioni, stazioni ferroviarie, sale da ballo, palestre, tribune libere, edifici per eventi pubblici, sale da concerto, palazzetti per lo sport e relative tribune.			

Per una scuola primaria inserita nella categoria C1 si assumono i seguenti sovraccarichi accidentali:

- solaio: **3 kN/m<sup>2</sup>**
- scale, balconi e ballatoi: **4 kN/m<sup>2</sup>** (ambiente suscettibile di affollamento)
- coperture: **0,5 kN/m<sup>2</sup>**

#### 5.2.4 Azione del vento

Si ipotizza che le azioni del vento, di natura dinamica, possano essere rappresentate mediante azioni statiche equivalenti.

Facendo riferimento al capitolo 3.3 delle NTC08, la pressione del vento è data dall'espressione:

$$p = q_b \cdot C_e \cdot C_p \cdot C_d$$

-  $q_b$  è la pressione cinetica di riferimento, calcolata nel seguente modo:

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2$$

dove:

$\rho$  è la densità dell'aria assunta costante è pari a 1,25 kg/m<sup>3</sup>;

$v_b$  è la velocità di riferimento del vento, calcolata come descritto nel paragrafo 3.3.2.

Per determinarla è necessario individuare la zona del sito dalla tabella 3.3.I in modo tale da individuare i valori  $v_{b,0}$ ,  $a_0$  e  $k_a$ .

Tabella 3.3.1 - Valori dei parametri  $v_{b,0}$ ,  $a_0$ ,  $k_a$

ZONA	DESCRIZIONE	$v_{b,0}$ [m/s]	$a_0$ [m]	$k_a$ [1/s]
1	Valle d'Aosta, Piemonte, Lombardia, Trentino Alto Adige, Veneto, Friuli Venezia Giulia (con l'eccezione della provincia di Trieste)	25	1000	0,010
2	Emilia Romagna	25	750	0,015
3	Toscana, Marche, Umbria, Lazio, Abruzzo, Molise, Puglia, Campania, Basilicata, Calabria (esclusa la provincia di Reggio Calabria)	27	500	0,020
4	Sicilia e provincia di Reggio Calabria	28	500	0,020
5	Sardegna (zona a oriente della retta congiungente Capo Teulada con l'isola di Maddalena)	28	750	0,015
6	Sardegna (zona a occidente della retta congiungente Capo Teulada con l'isola di Maddalena)	28	500	0,020
7	Liguria	28	1000	0,015
8	Provincia di Trieste	30	1500	0,010
9	Isole (con eccezione di Sicilia e Sardegna) e mare aperto	31	500	0,020



Per Ancona la zona di riferimento è la ZONA 3 ed i valori sono i seguenti:

$$v_{b,0} = 27 \text{ m/s};$$

$$a_0 = 500 \text{ m};$$

$$k_a = 0,020 \text{ 1/s};$$

Essendo  $a_s = 70 \text{ m}$ :

$$v_b = v_{b,0} \quad \text{per } a_s \leq a_0$$

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 27^2 = 455,6 \text{ N/m}^2$$

Ne deriva che la pressione cinetica di riferimento avrà un valore  $q_b = 0,4556 \text{ kN/m}^2$ .

-  $C_e$  è il coefficiente di esposizione, dipende dall'altezza  $z$  sul suolo del punto considerato, dalla topografia del terreno, e dalla categoria di esposizione del sito dove sorge la costruzione:

- la classe di rugosità del terreno è A (aree urbane in cui almeno il 15% della superficie sia coperto da edifici la cui altezza media superi i 15m);

Tabella 3.3.III – Classi di rugosità del terreno

<b>CLASSE DI RUGOSITÀ DEL TERRENO</b>	<b>DESCRIZIONE</b>
<b>A</b>	Aree urbane in cui almeno il 15% della superficie sia coperto da edifici la cui altezza media superi i 15 m
<b>B</b>	Aree urbane (non di classe A), suburbane, industriali e boschive
<b>C</b>	Aree con ostacoli diffusi (alberi, case, muri, recinzioni...); aree con rugosità non riconducibile alle classi A, B, D
<b>D</b>	Aree prive di ostacoli (aperta campagna, aeroporti, aree agricole, pascoli, zone paludose o sabbiose, superfici innevate o ghiacciate, mare, laghi...)
L'assegnazione della classe di rugosità non dipende dalla conformazione orografica e topografica del terreno. Affinchè una costruzione possa dirsi ubicata in classe A o B è necessario che la situazione che contraddistingue la classe permanga intorno alla costruzione per non meno di 1 km e comunque non meno di 20 volte l'altezza della costruzione. Laddove sussistano dubbi sulla scelta della classe di rugosità, a meno di analisi dettagliate, verrà assegnata la classe più sfavorevole.	

- l'edificio è collocato in zona 3 entro i primi 10 km dal mare;

ZONE 1,2,3,4,5						
A	--	IV	IV	V	V	V
B	--	III	III	IV	IV	IV
C	--	*	III	III	IV	IV
D	I	II	II	II	III	**
* Categoria II in zona 1,2,3,4 Categoria III in zona 5						
** Categoria III in zona 2,3,4,5 Categoria IV in zona 1						

Tabella 3.3.II - Parametri per la definizione del coefficiente di esposizione

CATEGORIA DI ESPOSIZIONE DEL SITO	$k_r$	$z_0$ [m]	$Z_{min}$ [m]
<b>I</b>	0,17	0,01	2
<b>II</b>	0,19	0,05	4
<b>III</b>	0,20	0,10	5
<b>IV</b>	0,22	0,30	8
<b>V</b>	0,23	0,70	12

Ne consegue una categoria IV di esposizione del sito e i seguenti valori:

$$k_r = 0,22$$

$$z_0 = 0,30 \text{ m}$$

$$z_{min} = 8 \text{ m}$$

Il valore del coefficiente di esposizione, per  $z > z_{min}$ , sarà pari a:

$$C_e = k_r^2 \cdot C_t \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \cdot \left[7 + C_t \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)\right] \quad \text{per } z \geq z_{min}$$

$$C_e = k_r^2 \cdot C_t \cdot \ln\frac{z_{min}}{z_0} \cdot \left[7 + C_t \cdot \ln\frac{z_{min}}{z_0}\right] \quad \text{per } z \leq z_{min}$$

Il coefficiente di topografia  $C_t$  è posto generalmente pari a 1.

<i>solaio</i>	$C_e$
1°	1,634
2°	1,685
3°	1,962

-  $C_d$  è il coefficiente dinamico, assunto pari a 1 essendo l'edificio di forma regolare;

-  $C_p$  è il coefficiente di forma, funzione della tipologia e della geometria della costruzione e del suo orientamento rispetto alla direzione del vento; ha i seguenti valori:

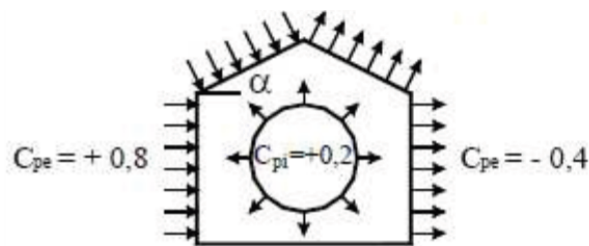


Fig. 73 - Valori del coefficiente di forma

$C_p = +0,8$  per la parete sopravvento;

$C_p = -0,4$  per la parete sottovento;

Siccome i solai sono da considerarsi infinitamente rigidi possiamo utilizzare:

$C_p = +1,2$

La pressione del vento alle diverse altezze è la seguente:

$H [m]$	$P [kN/m^2]$
4,32	0,893
5,95	0,893
8,64	0,921
12,96	1,073

I carichi dovuti all'azione del vento sono stati calcolati moltiplicando il valore della pressione appena calcolata per la lunghezza d'influenza. Il vento è poi stato applicato alla struttura per mezzo di carichi concentrati ai nodi travelpilastro.

$$F = P \cdot A_{inf}$$

### 5.2.5 Azione della neve

Facendo riferimento al capitolo 3.4 delle NTC08, il carico della neve sulla copertura viene calcolato con la seguente formula:

$$q_s = \mu_i \cdot q_{sk} \cdot C_E \cdot C_t$$

$\mu_i$  è il coefficiente di forma della copertura, fornito alla tabella 3.4.II, essendo l'inclinazione di falda inferiore a 30° sull'orizzontale;

**Tabella 3.4.II** – Valori del coefficiente di forma

Coefficiente di forma	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
$\mu_i$	0,8	$0,8 \cdot \frac{(60 - \alpha)}{30}$	0,0

$$\mu_i = 0,8 \quad \text{per } 0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$$

$q_{sk}$  è il valore caratteristico di riferimento del carico neve al suolo [kN/m<sup>2</sup>] per un periodo di ritorno di 50 anni, determinato nel seguente modo:

$$q_{sk} = 1,50 \text{ kN/m}^2 \quad a_s \leq 200 \text{ m}$$

Ancona si trova nella zona di carico da neve 1 (mediterranea) e l'edificio è collocato ad un'altitudine  $a_s=70$  m s.l.m., inferiore a 200 m;

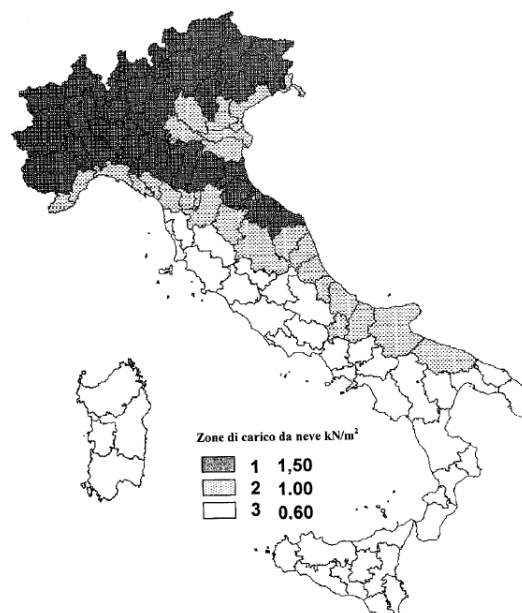


Fig. 74 – Zone di carico da neve

$C_E$  è il coefficiente di esposizione pari a 1;

$C_t$  è il coefficiente di topografia pari a 1.

Il carico della neve è il seguente:

$$q_s = 0,8 \cdot 1,5 \cdot 1 \cdot 1 = 1,2 \text{ kN/m}^2$$

### 5.2.6 Definizione dell'azione sismica

Per definire gli spettri da utilizzare, in accordo con le NTC08, occorre individuare una serie di valori legati all'edificio ed al sito ove esso è collocato.

#### 5.2.6.1 Vita nominale

La vita nominale di un'opera strutturale  $V_N$  è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purchè soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata.

**Tabella 2.4.I** – Vita nominale  $V_N$  per diversi tipi di opere

	<b>TIPI DI COSTRUZIONE</b>	<b>Vita Nominale <math>V_N</math> (in anni)</b>
1	Opere provvisorie – Opere provvisionali - Strutture in fase costruttiva <sup>1</sup>	$\leq 10$
2	Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	$\geq 50$
3	Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	$\geq 100$

Si individua, di conseguenza, un valore di  $V_N = 50$  anni, poiché si classifica l'edificio come “opera ordinaria”.

#### 5.2.6.2 Classe e coefficiente d'uso

Poiché in caso di azione sismica si può incorrere nell'interruzione di operatività e di eventuale collasso della struttura, la normativa suddivide le costruzioni in base a classi d'uso: l'edificio esaminato ricade in classe III.

- Classe I:* Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.
- Classe II:* Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.
- Classe III:* Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.
- Classe IV:* Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

Di conseguenza, come stabilito dalla tabella 2.4.II delle NTC08, il coefficiente d'uso  $C_U$  legato alla classe III è pari a 1,5.

Tab. 2.4.II – Valori del coefficiente d'uso  $C_U$

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE $C_U$	0,7	1,0	1,5	2,0

### 5.2.6.3 Categoria di sottosuolo

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi. Sulla base di quanto riportato sulla relazione geologica del 2012 l'edificio si trova su un terreno di categoria C.

Tabella 3.2.II – Categorie di sottosuolo

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento</i> (con $V_s > 800$ m/s).

#### 5.2.6.4 Condizione topografica

Come riportato nella relazione geologica, la superficie topografica rientra nella categoria T1.

Tabella 3.2.IV – *Categorie topografiche*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

#### 5.2.6.5 Accelerazione orizzontale massima

L'edificio è situato ad Ancona, luogo caratterizzato da  $a_g = 0,175$  g.

#### 5.2.6.6 Classe di duttilità

Si è scelto di progettare in classe di duttilità bassa CD"B".

#### 5.2.7 Spettri di risposta

Gli spettri di risposta sono stati calcolati sia allo SLU (con riferimento allo SLV e SLC) sia allo SLE (con riferimento allo SLD), gli spettri quindi sono differenti a seconda dello stato limite considerato.

Si riportano gli spettri di risposta elastici per i diversi stati limite e i valori di alcuni parametri associati a ciascuno stato limite<sup>210</sup>.

#### Valori dei parametri $a_g$ , $F_o$ , $T_c$ per i periodi di ritorno $T_R$ associati a ciascuno SL

SLATO LIMITE	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_o$ [-]	$T_c$ [s]
SLO	45	0,054	2,543	0,276
SLD	75	0,073	2,479	0,284
SLV	712	0,205	2,475	0,302
SLC	1462	0,267	2,497	0,312

<sup>210</sup> Spettri calcolati con il documento Excel SPETTRI-NCT ver. 1.0.3 ([www.cslp.it](http://www.cslp.it)).

### Spettri di risposta elastici per i diversi Stati Limite

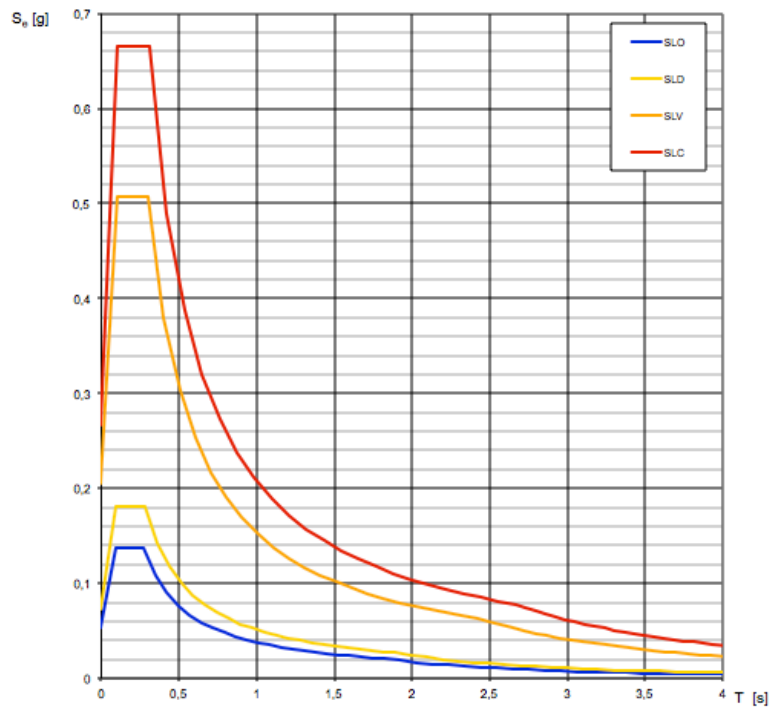


Fig. 75 – Spettri di risposta elastici per i diversi Stati Limite

#### 5.2.7.1 Spettro SLE

Allo SLE si fa riferimento ad uno spettro di progetto elastico, mostrato in figura, riferito allo SLD. Lo Stato Limite di Danno ha il 63% di probabilità di essere superato nel periodo di riferimento.

#### Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite: SLD

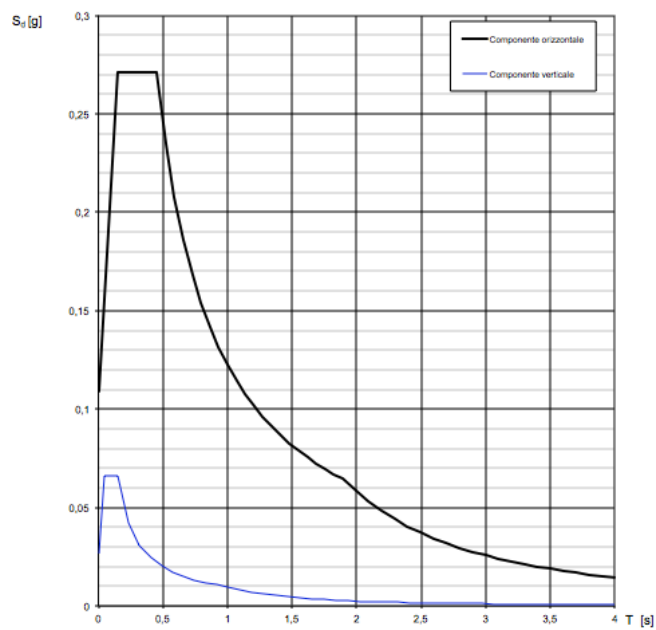


Fig. 76 – Spettro di risposta elastico – SLD



**Parametri indipendenti**

STATO LIMITE	SLD
$a_g$	0,073 g
$F_o$	2,479
$T_C^*$	0,284 s
$S_S$	1,500
$C_C$	1,592
$S_T$	1,000
$q$	1,000

**Parametri dipendenti**

$S$	1,500
$\eta$	1,000
$T_B$	0,150 s
$T_C$	0,451 s
$T_D$	1,892 s

**Espressioni dei parametri dipendenti**

$$S = S_S \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10/(5 + \xi)} \geq 0,55; \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_C / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_C \cdot T_C^* \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

**Espressioni dello spettro di risposta** (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto  $S_d(T)$  per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico  $S_e(T)$  sostituendo  $\eta$  con  $1/q$ , dove  $q$  è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

**Punti dello spettro di risposta**

T [s]	Se [g]
0,000	0,109
0,150	0,271
0,451	0,271
0,520	0,235
0,588	0,208
0,657	0,186
0,726	0,169
0,794	0,154
0,863	0,142
0,931	0,131
1,000	0,122
1,069	0,114
1,137	0,108
1,206	0,101
1,274	0,096
1,343	0,091
1,411	0,087
1,480	0,083
1,549	0,079
1,617	0,076
1,686	0,073
1,754	0,070
1,823	0,067
1,892	0,065
1,992	0,058
2,092	0,053
2,193	0,048
2,293	0,044
2,394	0,040
2,494	0,037
2,594	0,034
2,695	0,032
2,795	0,030
2,896	0,028
2,996	0,026
3,096	0,024
3,197	0,023
3,297	0,021
3,398	0,020
3,498	0,019
3,598	0,018
3,699	0,017
3,799	0,016
3,900	0,015
4,000	0,014

Questo spettro viene utilizzato sia per l'analisi della struttura isolata, sia per l'analisi della struttura fissa, per la verifica degli spostamenti interpiano della struttura.

**5.2.7.2 Spettro SLU**

Allo SLU si fa riferimento a due spettri di progetto anelastico riferiti allo SLV per la struttura fissa e isolata e allo SLC unicamente per la struttura isolata. Lo Stato Limite di Salvaguardia della Vita e lo Stato Limite di Collasso hanno

rispettivamente il 10% e il 5% della possibilità di essere superati nel periodo di riferimento.

Si applica un coefficiente di riduzione  $q$  (fattore di struttura), come riportato al 7.3.1 delle NTC08, che riduce lo spettro elastico, per ricavare lo spettro di progetto.

$$q = q_0 \cdot K_R$$

dove:

-  $q_0$  è il valore massimo del fattore di struttura che dipende dal livello di duttilità attesa, dalla tipologia strutturale e dal rapporto  $\alpha_u/\alpha_1$ , tra il valore dell'azione sismica per il quale si verifica la formazione di un numero di cerniere plastiche tali da rendere la struttura labile e quello per il quale il primo elemento strutturale raggiunge la plasticizzazione a flessione;

-  $K_R$  è un fattore riduttivo che dipende dalle caratteristiche di regolarità in altezza della costruzione, con valore pari ad 1 per costruzioni regolari in altezza e pari a 0,8 per costruzioni non regolari in altezza.

Come descritto in precedenza, l'edificio non è regolare in altezza.

Per le costruzioni non regolari in pianta, si possono adottare valori di  $\alpha_u/\alpha_1$  pari alla media tra 1,0 ed i valori di volta in volta forniti per le diverse tipologie costruttive.

Siccome l'edificio non è regolare in pianta si procede calcolando il fattore  $q_0$  per edifici in cemento armato a telaio progettati in CD"B".

**Tabella 7.4.I – Valori di  $q_0$**

Tipologia	$q_0$	
	CD"B"	CD"A"
Strutture a telaio, a pareti accoppiate, miste	$3,0 \alpha_u/\alpha_1$	$4,5 \alpha_u/\alpha_1$
Strutture a pareti non accoppiate	3,0	$4,0 \alpha_u/\alpha_1$
Strutture deformabili torsionalmente	2,0	3,0
Strutture a pendolo inverso	1,5	2,0

Per strutture a telaio con più piani e più campate si considera:

$$\alpha_u/\alpha_1 = 1,3$$

Siccome l'edificio non è regolare in pianta:

$$\alpha_u/\alpha_1 = (1,3 + 1)/2 = 1,15$$

Di conseguenza:

$$q_0 = 3,0 \alpha_u/\alpha_1 = 3,0 \cdot 1,15 = 3,45$$

$$q = 3,45 \cdot 0,8 = 2,76$$

Lo spettro utilizzato per l'analisi della struttura a base fissa è stato quindi ridotto di un fattore  $q = 2,76$ , mentre quello utilizzato per la struttura isolata è stato ridotto di  $q = 1,5$ , come prescritto dalla normativa.

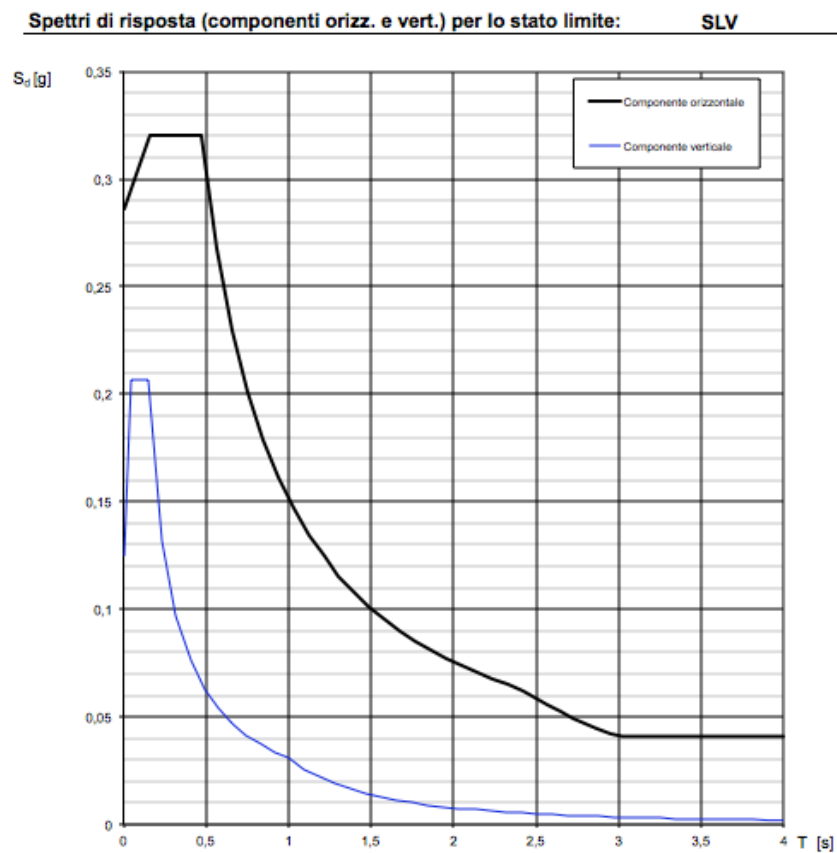


Fig. 77 – Spettro di risposta anelastico – SLV (fattore  $q=2,76$ )

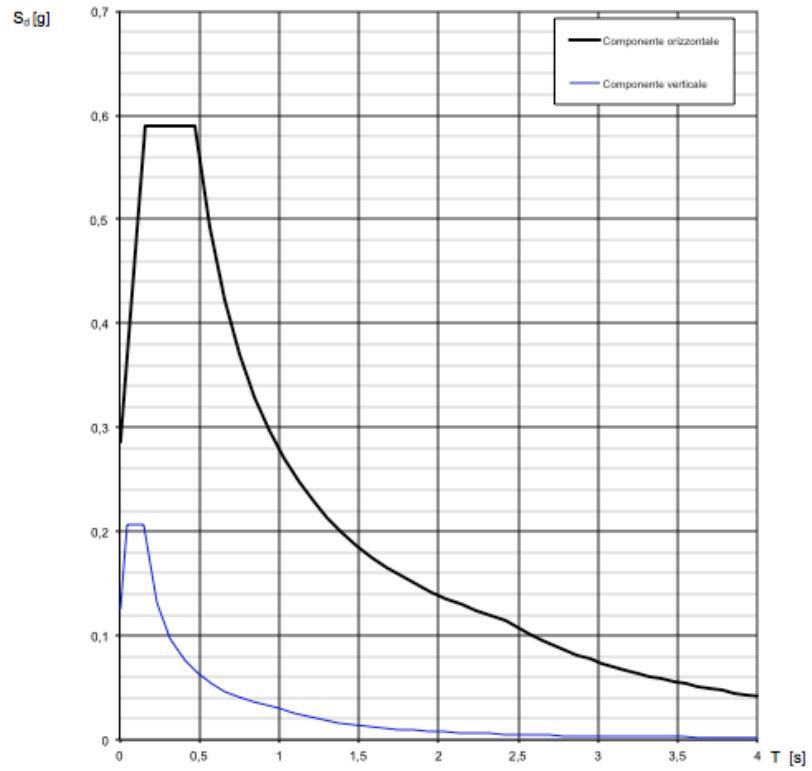


Fig. 78 - Spettro di risposta anelastico - SLV (fattore  $q=1,5$ )

**Parametri indipendenti**

STATO LIMITE	SLV
$a_g$	0,205 g
$F_o$	2,475
$T_C$	0,302 s
$S_S$	1,396
$C_C$	1,558
$S_T$	1,000
$q$	2,208

**Parametri dipendenti**

$S$	1,396
$\eta$	0,453
$T_B$	0,157 s
$T_C$	0,471 s
$T_D$	2,419 s

**Espressioni dei parametri dipendenti**

$$S = S_S \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10/(5 + \xi)} \geq 0,55; \quad \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_C / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_C \cdot T_C^* \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

**Espressioni dello spettro di risposta** (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto  $S_e(T)$  per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico  $S_e(T)$  sostituendo  $\eta$  con  $1/q$ , dove  $q$  è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

**Punti dello spettro di risposta**

T [s]	Se [g]
0,000	0,286
0,157	0,320
0,471	0,320
0,564	0,268
0,657	0,230
0,749	0,201
0,842	0,179
0,935	0,161
1,028	0,147
1,120	0,135
1,213	0,124
1,306	0,116
1,399	0,108
1,491	0,101
1,584	0,095
1,677	0,090
1,769	0,085
1,862	0,081
1,955	0,077
2,048	0,074
2,140	0,071
2,233	0,068
2,326	0,065
2,419	0,062
2,494	0,059
2,569	0,055
2,645	0,052
2,720	0,049
2,795	0,047
2,870	0,044
2,946	0,042
3,021	0,041
3,096	0,041
3,172	0,041
3,247	0,041
3,322	0,041
3,398	0,041
3,473	0,041
3,548	0,041
3,623	0,041
3,699	0,041
3,774	0,041
3,849	0,041
3,925	0,041
4,000	0,041

**Parametri indipendenti**

STATO LIMITE	SLV
$a_g$	0,205 g
$F_o$	2,475
$T_C^*$	0,302 s
$S_S$	1,396
$C_C$	1,558
$S_T$	1,000
$q$	1,200

**Parametri dipendenti**

$S$	1,396
$\eta$	0,833
$T_B$	0,157 s
$T_C$	0,471 s
$T_D$	2,419 s

**Espressioni dei parametri dipendenti**

$$S = S_S \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10/(5 + \xi)} \approx 0,55; \quad \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_C / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_C \cdot T_C^* \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

**Espressioni dello spettro di risposta** (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$$0 \leq T < T_B \quad S_c(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_c(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_c(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_c(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto  $S_c(T)$  per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico  $S_e(T)$  sostituendo  $\eta$  con  $1/q$ , dove  $q$  è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

**Punti dello spettro di risposta**

T [s]	Se [g]
0,000	0,286
0,157	0,589
0,471	0,589
0,564	0,492
0,657	0,423
0,749	0,371
0,842	0,330
0,935	0,297
1,028	0,270
1,120	0,248
1,213	0,229
1,306	0,213
1,399	0,199
1,491	0,186
1,584	0,175
1,677	0,166
1,769	0,157
1,862	0,149
1,955	0,142
2,048	0,136
2,140	0,130
2,233	0,124
2,326	0,119
2,419	0,115
2,494	0,108
2,569	0,102
2,645	0,096
2,720	0,091
2,795	0,086
2,870	0,082
2,946	0,077
3,021	0,074
3,096	0,070
3,172	0,067
3,247	0,064
3,322	0,061
3,398	0,058
3,473	0,056
3,548	0,053
3,623	0,051
3,699	0,049
3,774	0,047
3,849	0,045
3,925	0,044
4,000	0,042

Lo Stato Limite di Collasso viene considerato solo nell'analisi della struttura isolata e lo spettro viene ridotto di un fattore  $q=1,5$ , come richiesta dalla normativa.

**Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite: SLC**

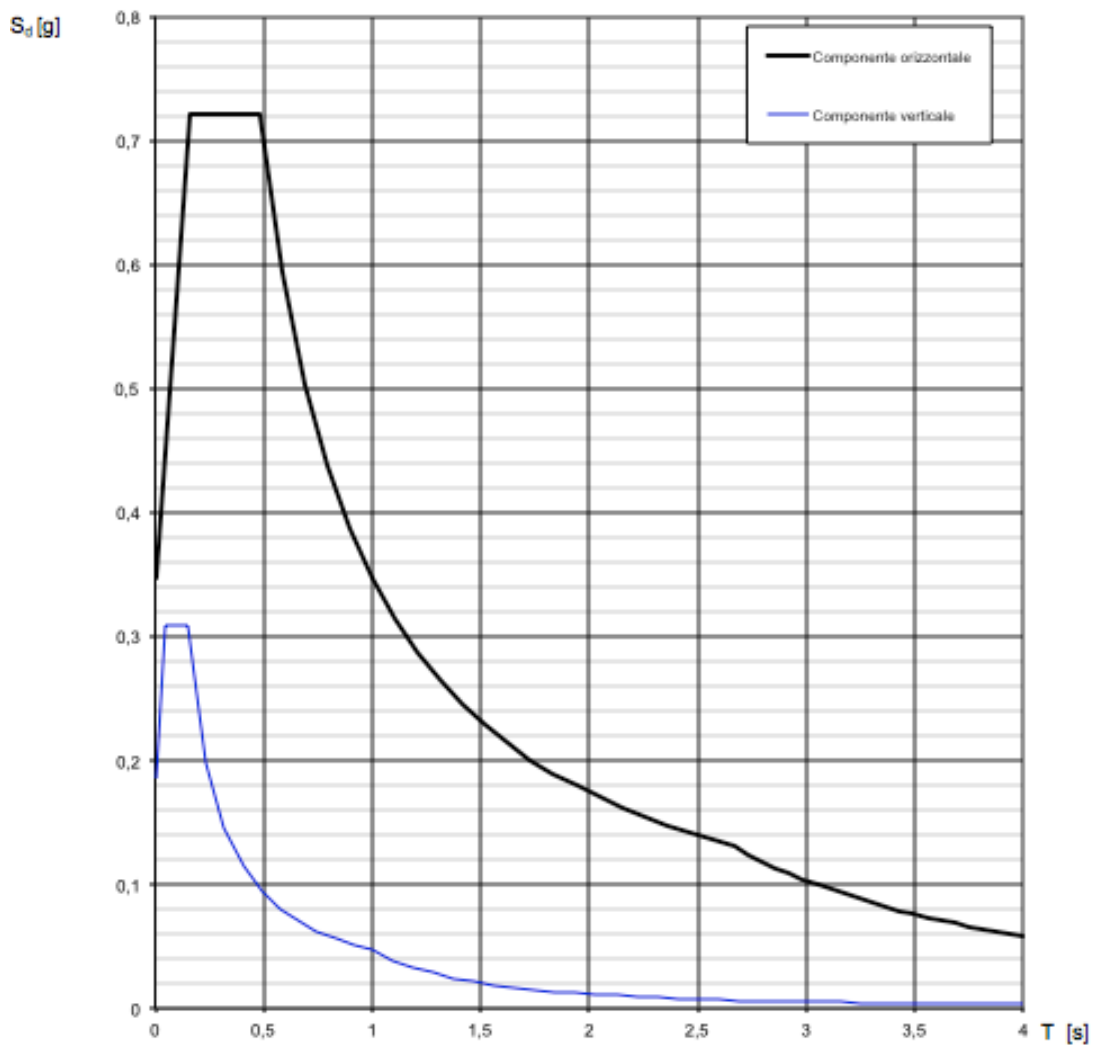


Fig. 79 - Spettro di risposta anelastico - SLC (fattore  $q=1,5$ )

**Parametri indipendenti**

STATO LIMITE	SLC
$a_g$	0,267 g
$F_o$	2,497
$T_C$	0,312 s
$S_s$	1,300
$C_C$	1,542
$S_T$	1,000
$q$	1,200

**Parametri dipendenti**

$S$	1,300
$\eta$	0,833
$T_B$	0,160 s
$T_C$	0,481 s
$T_D$	2,667 s

**Espressioni dei parametri dipendenti**

$$S = S_S \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10/(5 + \xi)} \geq 0,55; \quad \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_C / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_C \cdot T_C^* \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

**Espressioni dello spettro di risposta** (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto  $S_e(T)$  per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico  $S_e(T)$  sostituendo  $\eta$  con  $1/q$ , dove  $q$  è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

**Punti dello spettro di risposta**

T [s]	Se [g]
0,000	0,347
0,160	0,722
0,481	0,722
0,585	0,593
0,689	0,504
0,794	0,438
0,898	0,387
1,002	0,347
1,106	0,314
1,210	0,287
1,314	0,264
1,418	0,245
1,522	0,228
1,626	0,214
1,730	0,201
1,834	0,189
1,938	0,179
2,042	0,170
2,146	0,162
2,251	0,154
2,355	0,148
2,459	0,141
2,563	0,136
2,667	0,130
2,730	0,124
2,794	0,119
2,857	0,113
2,921	0,109
2,984	0,104
3,048	0,100
3,111	0,096
3,175	0,092
3,238	0,088
3,302	0,085
3,365	0,082
3,429	0,079
3,492	0,076
3,556	0,073
3,619	0,071
3,683	0,068
3,746	0,066
3,810	0,064
3,873	0,062
3,937	0,060
4,000	0,058



## 5.2.8 Predimensionamento della struttura

### 5.2.8.1 Trave

Il predimensionamento delle travi è condotto allo Stato Limite Ultimo (SLU) ed è stata scelta la trave con luce maggiore (trave di luce 4,8 m e area d'influenza pari a 34,56 m<sup>2</sup>).

I carichi agenti sulla trave sono i seguenti:

$$G_{\text{solaio+trave}} = (10,35 \text{ kN/m}^2 \cdot 7,2 \text{ m}) \cdot 1,1 = 81,97 \text{ kN/m}$$

$$Q_{\text{trave}} = (3 \text{ kN/m}^2 \cdot 7,2 \text{ m}) = 21,6 \text{ kN/m}$$

Il carico totale agente è:

$$P_{sd} = (1,3 \cdot 81,97 + 1,5 \cdot 21,6) = 138,96 \text{ kN/m}$$

Con metodo approssimato si calcola il momento in mezzzeria (momento positivo):

$$M^+ = \frac{PL^2}{10} = \left( \frac{138,96 \cdot 4,8^2}{10} \right) = 320,16 \text{ kNm}$$

dove:

P è il carico applicato

L è la luce della campata della trave

Per minimizzare il costo dell'opera si richiede un momento adimensionalizzato

$$\mu = 0,20$$

$$\mu = \frac{M}{bd^2 f_{cd}} = 0,2$$

dove:

b e d sono le dimensioni della sezione

$f_{cd}$  la resistenza di progetto del calcestruzzo

Viene scelto  $d = 0,45$  m (considerati 3 cm di copriferro) in modo tale da poter realizzare una trave in spessore di solaio, ottengo:

$$b = \sqrt{\frac{M}{d\mu f_{cd}}} = \sqrt{\frac{320,16}{0,45 \cdot 0,20 \cdot 17 \cdot 1000}} = 0,46 \text{ m}$$

TRAVE: 50 x 48 cm

Verifica del peso proprio della trave

$$PP_{trave} = 0,48 \cdot 0,50 \cdot 25 = 6,00 \text{ kN/m}$$

$$10\%G = 74,52 \cdot 0,1 = 7,45 \text{ kN/m}$$

$$PP_{trave} < 10\%G$$

### 5.2.8.2 Pilastro

Si considera il pilastro più caricato, ovvero quello con area di influenza maggiore alla base dell'edificio.

$$A_{inf} = 34,56 \text{ m}^2$$

Si determinano i carichi agenti sul pilastro:

$$P_{G,trave} = 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \cdot 0,48 \text{ m} \cdot 0,5 \text{ m} \cdot 4,8 \text{ m} = 28,8 \text{ kN}$$

$$P_{G,solaio} = 10,35 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 34,56 \text{ m}^2 = 357,70 \text{ kN}$$

$$P_{G,tot} = (28,80 + 357,70) \text{ kN} = 386,50 \text{ kN}$$

$$P_{G,tot} = 386,50 \text{ kN} \cdot 1,1 = 425,15 \text{ kN}$$

$$P_Q = 3 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 34,56 \text{ m}^2 = 103,68 \text{ kN}$$

$$P_{sd} = (1,3P_{G,tot} + 1,5P_Q) = 1,3 \cdot 425,15 \text{ kN} + 1,5 \cdot 103,68 \text{ kN} = 708,20 \text{ kN}$$

Noti i carichi si calcola l'azione assiale (N) sul pilastro, considerando che l'edificio ha 3 piani, al piano terra si ha:

$$N = P_{sd} \cdot n_{piani} = 708,20 \cdot 3 = 2124,62 \text{ kN}$$

Si definisce la sezione del pilastro considerando la sola azione assiale:

$$A_{pilastro} = \frac{N}{f_{cd}} = \frac{2124,62}{17 \cdot 1000} = 0,125 \text{ m}^2$$

Per tenere in considerazione anche gli effetti del momento flettente, ai fini del predimensionamento è possibile amplificare l'azione assiale tramite un coefficiente di posizione  $\alpha_p$  che varia come illustrato.

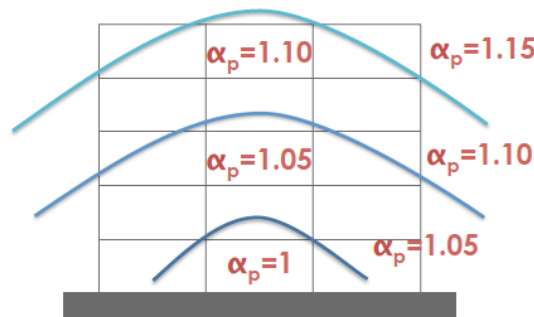


Fig. 80 - Variazione del coefficiente di posizione

Nel caso in esame  $\alpha_p$  è pari a 1,05 poiché il pilastro scelto è a pianoterra in posizione laterale. Inoltre occorre tenere in conto dei momenti introdotti dall'azione sismica, introducendo il coefficiente  $\alpha_s$ , che varia in funzione della "sismicità" della zona di progettazione. Si sceglie un coefficiente  $\alpha_s$  pari a 1,2 trattandosi di una zona a "media sismicità".

$$A_{pilastro} = \frac{N \cdot \alpha_p \cdot \alpha_s}{f_{cd}} = \frac{2124,62 \cdot 1,05 \cdot 1,2}{17 \cdot 1000} = 0,157 \text{ m}^2$$

$$L_{pilastrò} = \sqrt{A_{pilastrò}} = \sqrt{0,157} = 0,397 \text{ m}$$

PILASTRO: 40 x 40 cm

Peso proprio del pilastro:

$$P_{G,pilastrò} = 25 \frac{kN}{m^3} \cdot 0,4 \text{ m} \cdot 0,4 \text{ m} \cdot 4,32 \text{ m} = 17,28 \text{ kN}$$

### 5.2.9 Predimensionamento del sistema di isolamento

Si assume che la sovrastruttura sia rigida e si progetta il sistema di isolamento utilizzando isolatori elastomerici.

Considerato lo spettro in spostamento ottenuto dallo spettro in accelerazione riferito allo SLC e a un periodo di ritorno di 1462 anni (vita nominale: 50 anni e coefficiente d'uso: 1,5), si definiscono i valori del periodo e dello smorzamento del sistema che determinano un abbattimento degli effetti sismici sulla sovrastruttura. Si sceglie di progettare per un periodo corrispondente al corner period pari a 2,7 s, con uno smorzamento del 15%.

Si ottengono i valori dello spettro in spostamento:

$$S_D(T) = S_e(T) \cdot \left(\frac{T}{2\pi}\right)^2 = 0,127g \cdot \left(\frac{2,7}{2\pi}\right)^2 = 0,230$$

$$\Delta_T = 230 \text{ mm}$$

Progetto ricavando dallo spettro in spostamento smorzato il  $\Delta$  in corrispondenza del corner period  $T_c$ .

Il dispositivo di isolamento scelto possiede un coefficiente di smorzamento viscoso equivalente pari a  $\xi_e = 15\%$ .

$$\Delta_{T,20} = \left(\frac{0,07}{0,02 + 0,15}\right)^{0,5} \cdot \Delta_{T,5} = 0,642 \cdot \Delta_{T,5} = 148 \text{ mm}$$

Si sceglie un sistema di isolamento per 200 mm.

Pertanto sul dispositivo si avranno le seguenti limitazioni:

$$D \geq 2\Delta_m = 400 \text{ mm}$$

$$h \geq \Delta_{max} \cong 200 \text{ mm}$$

L'edificio è rigido e risponde elasticamente.

$$\theta_y = k \cdot \varepsilon_y \cdot \frac{L_b}{h_b} = 0,5 \cdot 0,002 \cdot \frac{4,8}{0,48} = 0,01$$

in cui:  $k = 0,5$  (per telai in C.A.)

$L_b$ : lunghezza della trave

$h_b$ : altezza della trave

$$h_{eq} \cong 9,1 \text{ m}$$

Spostamento di snervamento:

$$\theta_y \cdot h_{eq} = 9,1 \cdot 0,01 = 91 \text{ mm}$$

Si stima il peso totale  $W$  della struttura:  $W_{TOT} = 60000 \text{ kN}$

Il  $T_{d,e}$  utilizzato sarà uguale a 2,7 s.

Con questi valori è possibile stimare la rigidezza e il taglio alla base:

$$k_{d,e} = 4\pi^2 \cdot W / (9,81 \cdot T_{d,e}^2) = 4\pi^2 \cdot \frac{60000}{9,81 \cdot 2,7^2} = 33122 \text{ kN/m}$$

$$V_{base} = k_{d,e} \cdot \Delta_d = 32122 \cdot 0,148 = 4902,03 \text{ kN}$$

Si sceglie di posizionare gli isolatori sotto ogni pilastro (n° di isolatori: 55) e si stima il carico verticale che grava su ognuno.

$$W_i = W_{tot}/n^\circ \text{isolatori} = \frac{60000}{55} = 1091 \text{ kN}$$

Si stimano la rigidezza e il taglio di ogni isolatore:

$$k_i = k_{d,e}/n^\circ \text{isolatori} = \frac{33122}{55} = 602 \text{ kN/m}$$

$$V_i = V_{base}/n^\circ \text{isolatori} = \frac{4902,03}{55} = 89 \text{ kN}$$

Si ricava:

$$f_{p,i} = W_i/(D^2\pi) = \frac{1091}{200^2\pi} = 8,7 \text{ MPa}$$

Posto che ogni strato di gomma dell'isolatore ha una mescola con modulo dinamico equivalente a taglio  $G_R = 1 \text{ MPa}$

$$t = G_R D / 8f = \frac{400}{8 \cdot 8,7} = 5,75 \text{ mm}$$

$$h_{min} = \frac{G_R A}{k_i} = \frac{\pi 200^2}{602} = 209 \text{ mm} > 200 \text{ OK}$$

### 5.3 Modellazione e analisi strutturale

La struttura è stata modellata tramite il software SAP2000. Sono stati creati due modelli, uno della struttura a base fissa, l'altro della struttura isolata, scegliendo per entrambi l'opzione *3D Frames > Space Frame*.

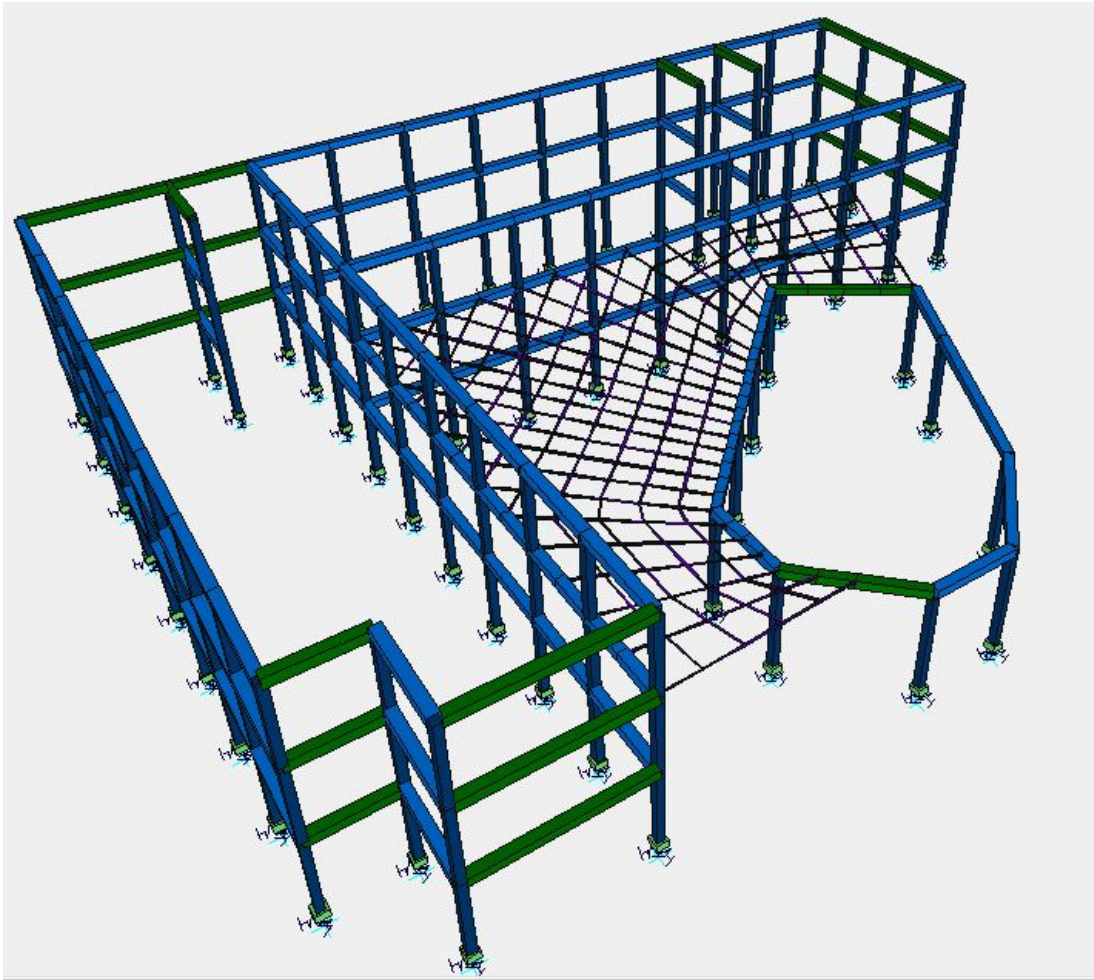


Fig. 81 – Modello della struttura (software: SAP2000)

### **5.3.1 Assegnazione dei materiali**

Si è definito il calcestruzzo C30/37 come materiale di progetto per travi e pilastri, mentre alla copertura è stata assegnata una sezione in acciaio.

### **5.3.2 Assegnazione delle sezioni**

Per definire gli elementi strutturali si procede quindi all'assegnazione delle differenti sezioni, dettate nel caso delle travi e dei pilastri dai risultati del predimensionamento.

### **5.3.3 Assegnazione dei vincoli**

Sono state impostate le condizioni di vincolo esterno: incastri alla base per la struttura a base fissa e molle, a cui è stata attribuita la rigidezza ricavata dal

predimensionamento del sistema di isolamento nelle due direzioni traslazionali, per la struttura isolata alla base.

Sono stati inoltre assegnati i vincoli interni: per modellare l'effetto irrigidente del solaio a ciascun piano è stato definito un diaframma rigido, ottenendo 4 diaframmi (3 per i blocchi A e B e 1 per il blocco C), che traducono la rigidità del solaio e garantiscono uguali spostamenti ad ogni piano.

### 5.3.4 Analisi statica

I carichi agenti utili all'analisi statica sono i carichi permanenti, i carichi variabili, la neve e il vento.

La normativa indica come combinare i carichi considerati allo SLU, tramite la combinazione fondamentale espressa dalla 2.5.1 al 2.5.3 delle NTC08.

Sono stati inseriti i carichi considerando i quattro casi ( $G_1$ ,  $G_2$ ,  $Q_1$ ,  $Q_2$ ) per l'alternanza dei carichi.

#### 5.3.4.1 Combinazione delle azioni

Si definisce la seguente combinazioni delle azioni:

- Combinazione fondamentale, generalmente impiegata per gli stati limite ultimi (SLU):

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots \quad (2.5.1)$$

Dove i carichi permanenti  $G_k$  sono moltiplicati per  $\gamma_{Gk}$ , coefficienti parziali di sicurezza pari a 1,3 se considerati sfavorevoli e pari a 1 se considerati favorevoli. Anche i carichi accidentali sono moltiplicati per un coefficiente parziale di sicurezza ( $\gamma_{Qk}$  è pari a 1,5) e rappresentano le azioni variabili della combinazione.  $Q_{k1}$  rappresenta l'azione variabile dominante e invece  $Q_{k2}$ ,  $Q_{k3}$  azioni variabili secondarie, che possono agire contemporaneamente a quella dominante.



**Tabella 2.6.I** – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni nelle verifiche SLU

		Coefficiente $\gamma_F$	EQU	A1 STR	A2 GEO
Carichi permanenti	favorevoli	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	sfavorevoli		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti non strutturali <sup>(1)</sup>	favorevoli	$\gamma_{G2}$	0,0	0,0	0,0
	sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Carichi variabili	favorevoli	$\gamma_Q$	0,0	0,0	0,0
	sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

<sup>(1)</sup>Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti si potranno adottare per essi gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

Le azioni variabili  $Q_{kj}$  vengono combinate con i coefficienti di combinazione  $\psi_{0j}$ ,  $\psi_{1j}$ ,  $\psi_{2j}$  i cui valori sono forniti nella tabella 2.5.1 al 2.5.3 delle NTC08.

**Tabella 2.5.I** – Valori dei coefficienti di combinazione

Categoria/Azione variabile	$\Psi_{0i}$	$\Psi_{1i}$	$\Psi_{2i}$
Categoria A Ambienti ad uso residenziale	0,7	0,5	0,3
Categoria B Uffici	0,7	0,5	0,3
Categoria C Ambienti suscettibili di affollamento	0,7	0,7	0,6
Categoria D Ambienti ad uso commerciale	0,7	0,7	0,6
Categoria E Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	1,0	0,9	0,8
Categoria F Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso $\leq 30$ kN)	0,7	0,7	0,6
Categoria G Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso $> 30$ kN)	0,7	0,5	0,3
Categoria H Coperture	0,0	0,0	0,0
Vento	0,6	0,2	0,0
Neve (a quota $\leq 1000$ m s.l.m.)	0,5	0,2	0,0
Neve (a quota $> 1000$ m s.l.m.)	0,7	0,5	0,2
Variazioni termiche	0,6	0,5	0,0

Le combinazioni applicate alla struttura nell'analisi statica sono le seguenti:

- 1)  $1,3(G_{1k} + G_{2k}) + 1,5(Q_{1k} + Q_{2k}) + 0,75N_k + 0,9V_k^{dx-sx}$
- 2)  $1,3(G_{1k} + G_{2k}) + 1,05(Q_{1k} + Q_{2k}) + 1,5N_k + 0,9V_k^{dx-sx}$
- 3)  $1,3(G_{1k} + G_{2k}) + 1,05(Q_{1k} + Q_{2k}) + 0,75N_k + 1,5V_k^{dx-sx}$
- 4)  $1,3(G_{1k} + G_{2k}) + 1,5(Q_{1k} + Q_{2k}) + 0,75N_k + 0,9V_k^{sx-dx}$
- 5)  $1,3(G_{1k} + G_{2k}) + 1,05(Q_{1k} + Q_{2k}) + 1,5N_k + 0,9V_k^{sx-dx}$
- 6)  $1,3(G_{1k} + G_{2k}) + 1,05(Q_{1k} + Q_{2k}) + 0,75N_k + 1,5V_k^{sx-dx}$
- 7)  $1,3G_{1k} + 1,0G_{2k} + 1,5Q_{1k} + 0Q_{2k} + 0,75N_k + 0,9V_k^{dx-sx}$
- 8)  $1,3G_{1k} + 1,0G_{2k} + 1,5Q_{1k} + 0Q_{2k} + 0,75N_k + 0,9V_k^{sx-dx}$

$$9) \quad 1,0G_{1k} + 1,3G_{2k} + 0Q_{1k} + 1,5Q_{2k} + 0,75N_k + 0,9V_k^{dx-sx}$$

$$10) \quad 1,0G_{1k} + 1,3G_{2k} + 0Q_{1k} + 1,5Q_{2k} + 0,75N_k + 0,9V_k^{sx-dx}$$

### 5.3.5 Analisi modale

L'analisi modale è volta a definire i modi di vibrare della struttura ed i rispettivi periodi. Le masse sismiche sono state calcolate in automatico dal programma procedendo con i comandi *Define > Mass source*.

Le masse sono in funzione dei carichi permanenti e degli eventuali sovraccarichi secondo l'espressione:

$$M = \frac{G_k + \sum_j \psi_{2j} Q_{kj}}{9,81}$$

Dove il coefficiente di combinazione  $\psi_{2j}$  è specificato a seconda dell'utilizzo della tabella 2.5.1 delle NTC08.

#### 5.3.5.1 Struttura a base fissa

La massa partecipante supera l'85% sia in direzione X sia in Y al secondo modo di vibrare. Si riportano i modi di vibrare associati al periodo e alla massa partecipante.

	StepNum Unitless	Period Sec	UX Unitless	UY Unitless	UZ Unitless	SumUX Unitless	SumUY Unitless	SumUZ Unitless
▶	1	1,179083	0,7733	0,08405	0,00000165	0,7733	0,08405	0,00000165
	2	1,119868	0,09877	0,7672	0,000002073	0,87207	0,85125	0,000003724
	3	1,001769	0,01091	0,03628	0,0000001622	0,88298	0,88753	0,000003886
	4	0,402059	0,07492	0,00577	0,0000004741	0,9579	0,8933	0,00000436
	5	0,387956	0,00928	0,02905	0,000001574	0,96718	0,92235	0,000005934
	6	0,376171	0,00162	0,04697	0,00001935	0,96879	0,96932	0,00002528

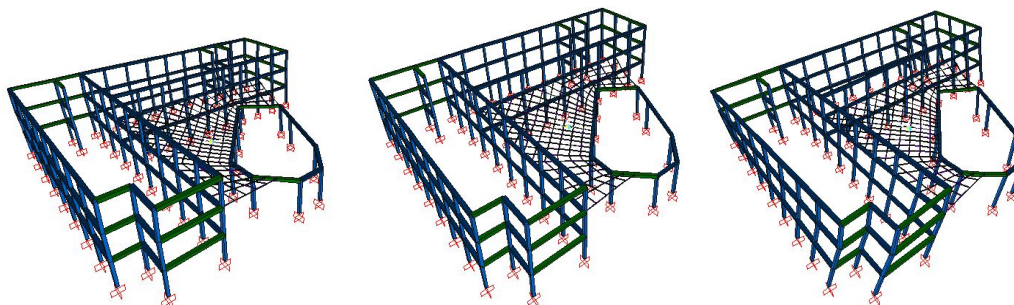


Fig. 82 – Primi tre modi di vibrare della struttura a base fissa

### 5.3.5.2 Struttura isolata

La massa partecipante raggiunge quasi il 100% sia in direzione X sia in Y al secondo modo di vibrare. Si riportano i modi di vibrare associati al periodo e alla massa partecipante.

	OutputCase Text	StepType Text	StepNum Unitless	Period Sec	UX Unitless	UY Unitless	UZ Unitless	SumUX Unitless	SumUY Unitless	SumUZ Unitless
▶	MODAL	Mode	1	2,794834	0,97794	0,01789	0,0000009405	0,97794	0,01789	0,0000009405
	MODAL	Mode	2	2,776088	0,01788	0,97839	0,000001759	0,99582	0,99628	0,00000027
	MODAL	Mode	3	1,185784	0,000007567	0,000008844	0,000001422	0,99582	0,99628	0,000001692
	MODAL	Mode	4	1,03274	0,000006484	0,00015	0,00026	0,99583	0,99643	0,00026
	MODAL	Mode	5	1,025253	0,00001294	0,00013	0,00025	0,99584	0,99655	0,00051
	MODAL	Mode	6	0,867398	0,00001163	0,000005847	0,00036	0,99585	0,99656	0,00411
	MODAL	Mode	7	0,798861	0,00001036	0,000004367	0,00086	0,99587	0,99656	0,00497
	MODAL	Mode	8	0,755196	0,000004575	0,000001762	0,00051	0,99587	0,99657	0,00548
	MODAL	Mode	9	0,667189	0,000001778	0,0000002657	0,00019	0,99587	0,99657	0,00567
	MODAL	Mode	10	0,579869	0,0009	0,00065	0,000003974	0,99677	0,99721	0,00567

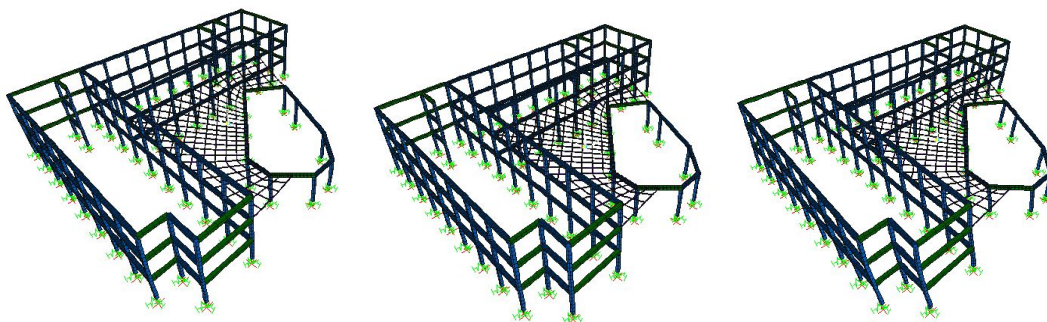


Fig. 83 – Primi tre modi di vibrare della struttura isolata

### 5.3.6 Inserimento degli spettri

I risultati degli spettri (paragrafo 5.2.7) sono stati salvati come file di testo (.txt) per essere importati nel software SAP2000 tramite il comando *Define > Functions > Response Spectrum*.

Sono stati quindi definiti nuovi casi di carico (Sisma\_X e Sisma\_Y per ogni spettro), scegliendo la combinazione modale SRSS e come fattore di scala 9,81 poiché i valori del file di testo sono accelerazioni espresse in funzione di  $g$ .

### 5.3.7 Combinazioni dell'azione sismica

Dopo aver introdotto l'eccentricità accidentale, si determinano le diverse combinazioni sismiche, inserendo il Sisma\_XY combinato con i carichi con gli opportuni coefficienti.

#### 5.4 Verifica allo Stato Limite di Danno – Spostamenti interpiano

Dopo aver caricato i modelli con la combinazione sismica allo SLD, si determinano gli spostamenti ai nodi di una prescelta pilastrata.

Occorre verificare che l'azione sismica non produca danni agli elementi costruttivi non strutturali tali da rendere la costruzione temporaneamente inagibile.

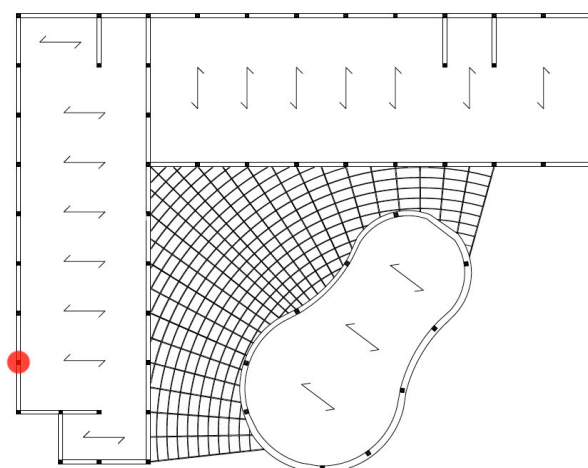


Fig. 84 – Pilastrata scelta per la verifica allo SLD

##### 5.4.1 Struttura a base fissa

Occorre verificare allo SLD che lo spostamento interpiano  $d_r$  sia inferiore a  $0,005h$ , in cui  $h$  è l'altezza dello stesso.

L'altezza interpiano è pari a 4,32 m e il valore limite di confronto risulta essere pari a 0,0216 m.

Piano	$d_{r,x}$ (m)	$d_{r,y}$ (m)	$0,005h$ (m)	verifica
1	0,021235	0,017959	0,0216	ok
2	0,024193	0,018557	0,0216	NO
3	0,013002	0,010056	0,0216	ok

##### 5.4.2 Struttura isolata

Sulla sovrastruttura la verifica si effettua controllando che gli spostamenti interpiano ottenuti dall'analisi siano inferiori ai  $2/3$  di  $0,005h$ .

L'altezza interpiano è pari a 4,32 m e il valore limite di confronto risulta essere pari a 0,0144 m.

Piano	$d_{r,x}$ (m)	$d_{r,y}$ (m)	$2/3*0,005$ (m)	verifica
1	0,00535	0,00441	0,0144	ok
2	0,00567	0,00499	0,0144	ok
3	0,00315	0,00239	0,0144	ok

### 5.5 Spostamenti interpiano della struttura isolata

Si calcolano gli spostamenti interpiano  $d_r$  per la stessa pilastrata della struttura isolata anche allo SLV (spettro associato a un periodo di ritorno di 712 anni con fattore di struttura  $q=1,5$ ) e allo SLC (spettro associato a un periodo di ritorno di 1462 anni con fattore di struttura  $q=1,5$ ).

#### 5.5.1 Stato Limite di Salvaguardia della Vita

Piano	$d_{r,x}$	$d_{r,y}$
1	0,01477	0,01396
2	0,01613	0,01337
3	0,00888	0,00647

Gli spostamenti interpiano della struttura isolata allo SLV risultano inferiori a quelli della struttura a base fissa calcolati con lo spettro allo SLD.

#### 5.5.2 Stato Limite di Collasso

Piano	$d_{r,x}$	$d_{r,y}$
1	0,02036	0,01927
2	0,02217	0,01827
3	0,01239	0,00886

Allo SLC la struttura isolata ha uno spostamento interpiano massimo inferiore a quello della struttura a base fissa, calcolato con lo spettro allo SLD.

## 5.6 Progettazione allo Stato Limite Ultimo

Si allegano le tabelle con il calcolo di una trave e un pilastro per la struttura isolata e la struttura a base fissa. I momenti e i tagli agenti sono stati ricavati dall'analisi effettuata con SAP2000, riferendosi alla combinazione sismica allo SLV. Per il calcolo delle armature della struttura a base fissa è stato applicato il criterio della gerarchia delle resistenze.

Di seguito si riportano due schemi che mostrano la posizione della trave (1° solaio) e del pilastro calcolati.

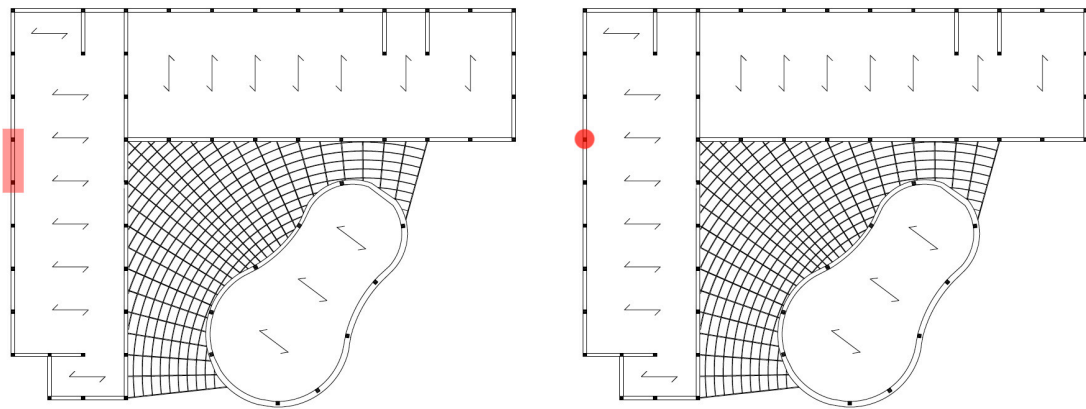


Fig. 85 e Fig. 86 - Trave (1° solaio) e Pilastro scelti per il calcolo dell'armatura

### 5.6.1 Calcolo dell'armatura di una trave (struttura isolata)

STRUTTURA ISOLATA			
ARMATURA LONGITUDINALE			
	NODO 1	CAMPATA	NODO 2
M_max	-351,52	80,1	-354,41
$\mu$	0,204	-0,047	0,206
$\omega$	0,226	0,051	0,228
A_req	2210,87	498,91	2230,43
diametro	16	14	16
n. barre	12	5	12
A_eff	2413	770	2413
diametro	16	14	16
n. barre	6	2	6
A_eff	1206	308	1206
As_min1	376,54	376,54	376,54
As_min2	292,5	292,5	292,5
verifica	ok	ok	ok
A_eff	2413	770	2413
A_max	9600	9600	9600
verifica	ok	ok	ok
s_teso	64	86,5	64
s_min	32	28	32
sigma SLU	358,25	253,34	361,42
sigma SLE	266,37	188,37	268,72
diam max	16	25	16
s_max(mm)	175	250	175
ver s min	ok	ok	ok
ver s max	ok	ok	ok
$\rho_c$	0,0050	0,0013	0,0050
$\rho_t$	0,0101	0,0032	0,0101
$\rho_{min}$	0,0031	0,0031	0,0031
$\rho_{max}$	0,0128	0,0091	0,0128
verifica	ok	ok	ok
l_b	521,33	456,17	521,33
l_b_min_c	312,8	273,7	312,8
l_b_min(10)	100	100	100
l_b_min_t	156,4	136,85	156,4
l_b_min(10)	160	140	160
l_b_net_dir	478	296	482
l_b_net_pieg	334	207	337

STRUTTURA ISOLATA			
ARMATURA TRASVERSALE			
	NODO 1	CAMPATA	NODO 2
Vsd_da SAP	279,00		280,94
Vsd_utiliz	279,00		280,94
VRcd	860,625		860,625
Vsd	279		280,94
verifica	ok		ok
$\rho_l$	0,0161	0,0048	0,0161
v_min	0,41	0,41	0,41
Vrd_min	93,09	93,09	93,09
Vrd	164,16	109,63	164,16
As_w	176,19		177,41
diametro	12		12
bracci staffe	2		2
A res	226		226
Vrsd	357,88		357,88
Ast_eff	226		226
s	100		100
Ast_eff/s	2260		2260
Asteff/smin	750		750
s_max (1)	330		330
s_max (2)	360		360
verifica	ok		ok
s_max	301,33		301,33
s	150		150
verifica	ok		ok

## 5.6.2 Calcolo dell'armatura di un pilastro (struttura isolata)

COMBO SISMICA - STRUTTURA ISOLATA								
PILASTRO N°	ASSE	SEZIONE	M SX-DX	M DX-SX	N	v	$\mu$	$\omega$
1	y	superiore	218,18	210,88	-1158,92	-0,426	0,258	0,42
1	y	inferiore	252,69	244,24	-1158,92	-0,426	0,258	0,42
1	x	superiore	34,55	36,04	-1158,92	-0,426	0,258	0,42
1	x	inferiore	177,97	171,4	-1158,92	-0,426	0,258	0,42
2	y	superiore	180,36	187,2	-742,5	-0,273	0,258	0,43
2	y	inferiore	176,13	169,64	-742,5	-0,273	0,258	0,43
2	x	superiore	29,94	29,97	-742,5	-0,273	0,258	0,43
2	x	inferiore	34,16	35,41	-742,5	-0,273	0,258	0,43
3	y	superiore	91,2	95,6	-326,02	-0,120	0,258	0,51
3	y	inferiore	81,08	76,67	-326,02	-0,120	0,258	0,51
3	x	superiore	0,35	0,59	-326,02	-0,120	0,258	0,51
3	x	inferiore	30,08	29,98	-326,02	-0,120	0,258	0,51

STRUTTURA ISOLATA		
ARMATURA LONGITUDINALE		
	NODO 1-2	NODO 2-3
A_req	2991,30	3547,83
diametro	20	20
n. barre	10	12
A_eff	3141,59	3769,91
ARMATURA MINIMA		
As_min	1600	1600
verifica	ok	ok
ARMATURA MASSIMA		
A_max	6400	6400
verifica	ok	ok

STRUTTURA ISOLATA		
ARMATURA TRASVERSALE		
	NODO 1-2	NODO 2-3
$\omega_{eff}$	0,45	0,54
$\mu$	0,27	0,27
Mrd_eff	123,93	123,93
V_sd	77,46	77,46
TAGLIO COMPRESSIONE		
$\sigma_{cp}$	7,24	4,64
VRcd	688,50	688,50
Vsd	318,75	318,75
verifica	ok	ok
TAGLIO TRAZIONE		
pl	0,022	0,026
k	1,745	1,745
v_min	0,333	0,333
Vrd_min	204,37	148,15
Vrd	257,03	207,12
verifica	ok	ok
LIMITAZIONI		
s_max (1)	200	200
s_max (2)	175	175
s_max (3)	160	160
s_scelto	100	100
A_st	111,30	111,30
diametro	6	6
bracci	4	4
A_eff	113,10	113,10
H_critica	616	616
s_non critica	200	200
s_min_non cr	50	50
s_max_non cr	240	240
verifica	ok	ok



### 5.6.3 Calcolo dell'armatura di una trave (struttura base fissa)

STRUTTURA A BASE FISSA			
ARMATURA LONGITUDINALE			
	NODO 1	CAMPATA	NODO 2
M_max	-399	80,05	-405,88
$\mu$	0,232	-0,047	0,236
$\omega$	0,26	0,051	0,263
A_req	2543,48	498,91	2572,83
diámetro	16	14	16
n. barre	13	5	13
A_eff	2613	770	2613
diámetro	16	14	16
n. barre	7	2	7
A_eff	1407	308	1407
As_min1	376,54	376,54	376,54
As_min2	292,5	292,5	292,5
verifica	ok	ok	ok
A_eff	2613	770	2613
A_max	9600	9600	9600
verifica	ok	ok	ok
s_teso	50,67	86,5	50,67
s_min	32	28	32
sigma SLU	380,60	253,34	384,99
sigma SLE	282,98	188,37	286,25
diam max	16	25	16
s_max(mm)	150	250	150
ver s min	ok	ok	ok
ver s max	ok	ok	ok
$\rho_c$	0,0059	0,0013	0,0059
$\rho_t$	0,0109	0,0032	0,0109
$\rho_{min}$	0,0031	0,0031	0,0031
$\rho_{max}$	0,0136	0,0091	0,0136
verifica	ok	ok	ok
l_b	521,33	456,17	521,33
l_b_min_c	312,8	273,7	312,8
l_b_min(10)	100	100	100
l_b_min_t	156,4	136,85	156,4
l_b_min(10)	160	140	160
l_b_net_dir	507	296	513
l_b_net_pieg	355	207	359

STRUTTURA A BASE FISSA			
ARMATURA TRASVERSALE			
	NODO 1	CAMPATA	NODO 2
$\omega_{eff\_sup}$	0,267	0,079	0,267
$\mu_{eff\_sup}$	0,240	0,083	0,240
Mrd_sup	413,10		413,10
$\omega_{eff\_inf}$	0,144	0,031	0,144
$\mu_{eff\_inf}$	0,132	0,03	0,132
Mrd_inf	227,21		227,21
Vsd_A_1	303,24		
Vsd_A_2	316,85		
Vsd_A_3	-9,77		
Vsd_A_4	-23,38		
Vsd_B_1			-9,77
Vsd_B_2			-23,38
Vsd_B_3			237,77
Vsd_B_4			316,85
Vsd_da SAP	299,72		302,36
Vsd_utiliz	316,85		316,85
VRcd	860,625		860,625
Vsd	316,85		316,85
verifica	ok		ok
$\rho_l$	0,0179	0,0048	0,0179
v_min	0,41	0,41	0,41
Vrd_min	93,09	93,09	93,09
Vrd	170,01	109,63	170,01
As_w	200,09		200,09
diámetro	12		12
bracci staffe	2		2
A res	226		226
Vrsd	357,88		357,88
Ast_eff	226		226
s	100		100
Ast_eff/s	2260		2260
Asteff/smin	750		750
s_max (1)	330		330
s_max (2)	360		360
verifica	ok		ok
s_max	301,33		301,33
s	150		150
verifica	ok		ok

## 5.6.4 Calcolo dell'armatura di un pilastro (struttura base fissa)

COMBO SISMICA - STRUTTURA A BASE FISSA						
PILASTRO N°	ASSE	SEZIONE	M SX-DX	M DX-SX	N	v
1	y	superiore	257,33	250,19	-1151,7	-0,423
1	y	inferiore	299,37	291,10	-1151,7	-0,423
1	x	superiore	55,12	54	-1151,7	-0,423
1	x	inferiore	224,92	229,34	-1151,7	-0,423
2	y	superiore	246,84	253,6	-735	-0,270
2	y	inferiore	243,15	237,01	-735	-0,270
2	x	superiore	58	57,95	-735	-0,270
2	x	inferiore	53,67	54,57	-735	-0,270
3	y	superiore	149,39	150,31	-318,68	-0,117
3	y	inferiore	132,64	131,71	-318,68	-0,117
3	x	superiore	0,68	0,86	-318,68	-0,117
3	x	inferiore	58,09	57,89	-318,68	-0,117

	$\mu$ SX-DX y	$\mu$ DX-SX y	v	$\omega$	$\omega$
12 sup	0,333	0,332	-0,27	0,62	0,62
12 inf	0,315	0,315	-0,423	0,52	0,52
23 sup	0,338	0,330	-0,117	0,76	0,75
23 inf	0,421	0,426	-0,27	0,80	0,81

STRUTTURA A BASE FISSA		
ARMATURA LONGITUDINALE		
	NODO 1-2	NODO 2-3
A_req	4313,04	5634,78
diámetro	25	25
n. barre	10	12
A_eff	4908,73	5890,48
ARMATURA MINIMA		
As_min	1600	1600
verifica	ok	ok
ARMATURA MASSIMA		
A_max	6400	6400
verifica	ok	ok

STRUTTURA A BASE FISSA		
ARMATURA TRASVERSALE		
	NODO 1-2	NODO 2-3
$\omega_{eff}$	0,71	0,85
$\mu$	0,37	0,43
Mrd_eff	402,56	467,84
V_sd	186,37	216,59
TAGLIO COMPRESSIONE		
$\sigma_{cp}$	7,20	4,59
VRcd	688,50	688,50
Vsd	318,75	318,75
verifica	ok	ok
TAGLIO TRAZIONE		
pl	0,034	0,041
k	1,745	1,745
v_min	0,333	0,333
Vrd_min	203,40	147,14
Vrd	272,19	223,25
verifica	ok	ok
LIMITAZIONI		
s_max (1)	200	200
s_max (2)	175	175
s_max (3)	200	200
s_scelto	150	150
A_st	166,96	146,09
diámetro	8	8
bracci	4	4
A_eff	201,06	201,06
H_critica	616	616
s_non critica	200	200
s_min_non cr	62,5	62,5
s_max_non cr	250	250
verifica	ok	ok

### 5.6.5. Tabella riassuntiva delle armature

<b>Trave (isolata)</b>	<b>Ferri scelti</b>	<b>A<sub>eff</sub> tesa (mm<sup>2</sup>)</b>
NODO 1	12Ø16	2413
CAMPATA	5Ø14	770
NODO 2	12Ø16	2413
	<b>Ferri scelti</b>	<b>A<sub>eff</sub> compressa (mm<sup>2</sup>)</b>
NODO 1	6Ø16	1206
CAMPATA	2Ø14	308
NODO 2	6Ø16	1206
	<b>Staffe - Passo (mm)</b>	<b>A<sub>eff</sub> trasversale (mm<sup>2</sup>)</b>
NODO 1	Ø12 a due bracci - 100	226
CAMPATA	Ø12 a due bracci - 150	226
NODO 2	Ø12 a due bracci - 100	226

<b>Trave (base fissa)</b>	<b>Ferri scelti</b>	<b>A<sub>eff</sub> tesa (mm<sup>2</sup>)</b>
NODO 1	13Ø16	2613
CAMPATA	5Ø14	770
NODO 2	13Ø16	2613
	<b>Ferri scelti</b>	<b>A<sub>eff</sub> compressa (mm<sup>2</sup>)</b>
NODO 1	7Ø16	1407
CAMPATA	2Ø14	308
NODO 2	7Ø16	1407
	<b>Staffe - Passo (mm)</b>	<b>A<sub>eff</sub> trasversale (mm<sup>2</sup>)</b>
NODO 1	Ø12 a due bracci - 100	226
CAMPATA	Ø12 a due bracci - 150	226
NODO 2	Ø12 a due bracci - 100	226

<b>Pilastro (isolata)</b>	<b>Ferri scelti</b>	<b>A<sub>eff</sub> (mm<sup>2</sup>)</b>
NODO 1-2	10Ø20	3142
NODO 2-3	12Ø20	3770

<b>Pilastro (base fissa)</b>	<b>Ferri scelti</b>	<b>A<sub>eff</sub> zona tesa (mm<sup>2</sup>)</b>
NODO 1-2	10Ø24	4524
NODO 2-3	12Ø25	5890

<b>% Armatura</b>	<b>Struttura isolata</b>	<b>Struttura a base fissa</b>
Pilastro NODO 1-2	1,96%	2,83%
Pilastro NODO 2-3	2,36%	3,68%

## 5.7 Considerazioni conclusive

Dall'analisi e dai calcoli strutturali emerge che la soluzione a base isolata presenta numerosi vantaggi rispetto a quella tradizionale.

Innanzitutto è stato possibile realizzare una pianta molto flessibile, costituita unicamente da una maglia di pilastri; se non si fosse scelto l'isolamento, per ottenere valori di taglio inferiori alla base dei pilastri e per ridurre gli spostamenti interpiano, sarebbe stato necessario l'inserimento di pareti strutturali, che avrebbero limitato la libertà architettonica. Alcune scelte progettuali, come la presenza di numerose aperture e di estese superfici vetrate, sono state rese possibili grazie alla scelta di una struttura discontinua.

La valutazione degli spostamenti interpiano offre indicazioni chiare sul comportamento delle due strutture. La struttura a base fissa risulta non verificata già allo SLD, mentre la struttura isolata allo stesso Stato Limite presenta spostamenti interpiano di circa 4 volte inferiori. La struttura isolata non raggiunge lo spostamento massimo raggiunto dalla struttura a base fissa calcolata allo SLD nemmeno allo Stato Limite di Collasso. Ciò dimostra che il sistema di isolamento sismico alla base è molto efficace nel caso di sismi particolarmente violenti.

Limitare gli spostamenti interpiano significa rendere quasi nulli i danni agli elementi non strutturali: evitare quindi fessurazioni che potrebbero compromettere l'agibilità dell'edificio o la rottura dei vetri, quest'ultimo, aspetto particolarmente importante nel caso dell'edificio scolastico in esame.

Anche il sistema a facciata ventilata potrebbe subire distacchi e rotture in caso di sisma e si potrebbe verificare un "disammorsamento" tra il telaio in CA e il tamponamento in laterizio che, nel caso più grave potrebbe comportare l'espulsione fuori piano del tamponamento stesso.

La tecnica di isolamento sismico scelta, a differenza di quello che si potrebbe immaginare, non presenta un costo aggiuntivo eccessivo, anzi nel lungo termine risulta essere vantaggiosa anche dal punto di vista economico.

Il costo complessivo dell'edificio scolastico può essere stimato di 7'650'000 €, assumendo il costo a metro quadrato pari a 1'700 € e la superficie totale della scuola di circa 4'500 m<sup>2</sup>.

Il costo di un isolatore elastomerico può essere assunto pari a 2000 € e, essendo previsti 55 dispositivi, il costo del sistema di isolamento risulta di circa 110.000 € e incide solo dell'1,44% sul costo complessivo dell'opera. Occorre anche considerare che la struttura isolata richiede meno armatura longitudinale ai pilastri rispetto alla medesima a base fissa, questo comporta un primo risparmio sul materiale da costruzione. Inoltre, per la struttura a base fissa, bisogna considerare i costi aggiuntivi per la riparazione dei danni in caso di sisma, che potrebbero essere quasi nulli per la struttura isolata. Uno spostamento interpiano di circa due centimetri, calcolato con uno spettro allo SLD con periodo di ritorno pari a 75 anni, comporta diversi danni agli elementi non strutturali, come la formazione di fessure nel calcestruzzo e lo spostamento fuori asse delle porte. La struttura potrebbe non essere più agibile e la sua eventuale chiusura, necessaria per riparare i danni, con il conseguente trasferimento delle attività scolastiche in un altro edificio, comporta dei danni economici non trascurabili.

Grazie al sistema di isolamento alla base, in caso di terremoto si otterrà anche una riduzione della percezione umana delle scosse, che porterà ad evitare il panico, fattore di rilievo in una scuola frequentata da bambini di età compresa tra i 5 e i 10 anni. L'edificio scolastico potrà continuare ad essere operativo e potrebbe diventare strategico anche nei momenti d'emergenza post-sisma, infatti potrebbe essere utilizzato come luogo sicuro per ospitare gli sfollati ed eventualmente coordinare alcune operazioni di soccorso.

Purtroppo in Italia non si è abituati a progettare in modo lungimirante, spesso si interviene solo a seguito di calamità naturali che provocano danni considerevoli e molte vittime. E' necessaria una inversione di tendenza: un maggior investimento nella prevenzione contribuirebbe alla salvaguardia di vite umane e ridurrebbe i costi di riparazione dei danni subiti e di ricostruzione. Considerati i vantaggi del sistema di isolamento sismico, si auspica che questo approccio diventi una pratica più diffusa in Italia e nel mondo.

## CAPITOLO 6 – DESCRIZIONE GENERALE DEGLI IMPIANTI

Gli impianti di cui è dotato l'edificio sono i seguenti:

- impianto a pannelli radianti per il riscaldamento invernale e il raffrescamento estivo;
- impianto ad aria primaria (UTA);
- impianto solare termico;
- impianto fotovoltaico.

Nonostante l'interruzione delle attività scolastiche nel periodo estivo, poiché l'edificio potrebbe essere utilizzato anche per altri scopi come attività educative rivolte alla cittadinanza, si prevede un impianto di raffrescamento.

In ottemperanza alla normativa vigente<sup>211</sup>, gli impianti di produzione di energia termica devono essere progettati e realizzati tramite il ricorso ad energia prodotta da impianti alimentati da fonti rinnovabili, in modo tale da garantire il rispetto della copertura del 50% dei consumi previsti per l'acqua calda sanitaria e del 35% della somma dei consumi previsti per l'acqua calda sanitaria, il riscaldamento e il raffrescamento<sup>212,213</sup>.

Si sceglie di progettare un impianto solare termico e un impianto fotovoltaico.

### 6.1 Scelta dell'impianto di riscaldamento e raffrescamento

Si prevede un impianto di riscaldamento a superficie radiante, soluzione che garantisce elevato comfort termico e notevole risparmio energetico. Il sistema trasmette calore principalmente tramite irraggiamento, ciò evita fastidiosi spostamenti d'aria e di polveri e favorisce una diffusione uniforme del calore, inoltre l'assenza di corpi scaldanti consente un maggiore utilizzo della superficie dell'edificio.

Gli impianti radianti funzionano con acqua a bassa temperatura e sono pertanto ideali per essere integrati con pompa di calore. L'impianto radiante permette

---

<sup>211</sup> D. Lgs. 03-03-2011, n. 28 – allegato 3.

<sup>212</sup> Se la richiesta del titolo edilizio è presentata dal 1° gennaio 2014 al 31 dicembre 2016.

<sup>213</sup> Valori da incrementare del 10% per edifici pubblici.

con un'unica macchina, la pompa di calore, di riscaldare in inverno e raffrescare in estate.

Si adotta un sistema a pannelli radianti classico<sup>214</sup> di spessore complessivo di 80 mm, costituito da un pannello isolante bugnato, rivestito da un foglio rigido resistente al calpestio, che funge da barriera contro l'umidità. Sul pannello viene posato il tubo multistrato PEX AL PEX. L'installazione dell'impianto risulta molto semplificata grazie alle bugne dell'isolante, che con il loro profilo pronunciato consentono un ottimo bloccaggio del tubo.

I percorsi dei tubi sono solitamente a serpentina, con un infittimento sulle pareti perimetrali più fredde per ottenere una temperatura uniforme nell'ambiente.

Dopo la disposizione dei tubi viene realizzato il getto del massetto per il passaggio di altri impianti e tubazioni e per fornire una massa da riscaldare che possa fungere da vettore di calore.

La pavimentazione scelta, in linoleum compatto, è adatta a questo tipo di sistema di riscaldamento, poiché ha una resistenza termica di 0,015 m<sup>2</sup>K/W.

Si prevedono dei cavedi nelle pareti dei locali per ospitare i collettori:

- 1 per ogni aula;
- 2 per la zona cucina (piano terra);
- 2 per la zona insegnanti (primo piano);
- 4 per la mensa;
- 4 per lo spazio distributivo centrale;
- 4 per l'Aula Magna.

L'energia necessaria al funzionamento dei pannelli radianti è fornita dall'impianto solare termico o da una pompa di calore.

La centrale termica è collocata nella parte est del blocco B a piano terra ed è accessibile dall'esterno.

---

<sup>214</sup> [www.rossatogroup.com](http://www.rossatogroup.com) - Pannelli radianti classici ECOfloor

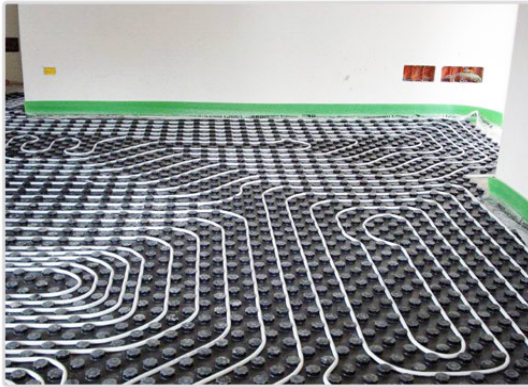


Fig. 87 - Esempio di impianto radiante ECOfloor Fig. 88 - Collettore dell'impianto radiante

## 6.2 Impianto ad aria primaria

L'edificio scolastico progettato assolve anche la funzione di "civic center" e sarà occupato tutti i mesi dell'anno per molte ore al giorno, quindi il ricambio d'aria non è affidato unicamente all'apertura delle finestre.

Negli ambienti con elevato affollamento, quali l'Aula Magna, la mensa e lo spazio centrale collettivo, sono previste unità di trattamento dell'aria per ambienti di medie dimensioni<sup>215</sup>.



Fig. 89 - Unità di trattamento dell'aria - Fonte: [www.aermec.it](http://www.aermec.it)

### 6.2.1 Predimensionamento dell'impianto ad aria primaria

Per predimensionare le tre U.T.A. si calcolano le diverse portate di aria con la seguente formula:

$$Q = 2 \cdot \frac{V}{h}$$

<sup>215</sup> [www.aermec.it](http://www.aermec.it) - UTA Aermec del tipo TN.



in cui:

Q è la portata espressa in m<sup>3</sup>/h;

V è il volume dell'ambiente considerato.

	V (m <sup>3</sup> )	Q (m <sup>3</sup> /h)	Grandezza UTA
Aula Magna	1700	3400	TN2
Mensa	2232,5	4465	TN3
Spazio centrale	2752,8	5505,7	TN3

Dalla scheda tecnica del produttore si ottengono le dimensioni delle macchine scelte:

<b>MODELLO TN</b>	<b>TN2</b>	<b>TN3</b>
Altezza (mm)	1334	1497
Larghezza (mm)	1172	1334
Profondità (mm)	684	765
Peso versione base batteria 6R (kg)	220	275
Peso versione potenziata batteria 6R (kg)	223	283

La UTA TN2 è collocata nel locale impianti dell'Aula Magna, mentre le due UTA TN3 sono ubicate nel locale impianti del blocco B al primo piano.

### 6.3 Impianto solare termico

Sulla copertura dell'edificio scolastico si installa un impianto solare termico a circolazione forzata con pannelli a tubi sottovuoto per la produzione di acqua calda sanitaria e per provvedere al riscaldamento.

Rispetto ai collettori piani, i tubi sottovuoto garantiscono un elevato rendimento anche nel periodo invernale, poiché il vuoto presente tra i due vetri che li costituiscono, trattiene il calore anche con temperature esterne basse.

I moduli scelti sono componibili, ognuno è composto da sei tubi spessi 55 mm<sup>216</sup>.

---

<sup>216</sup> [www.rossatogroup.com](http://www.rossatogroup.com) - Pannello solare a tubi sottovuoto T12-CPC

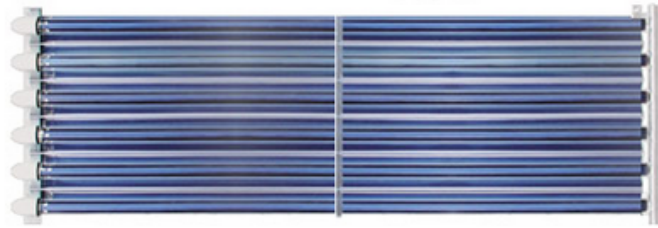


Fig. 90 – Pannelli a tubi sottovuoto – Fonte: [www.rossatogroup.com](http://www.rossatogroup.com)

### 6.3.1 Funzionamento dell'impianto solare termico

Il fluido termo-vettore, costituito da una miscela di acqua e antigelo e riscaldato dall'energia solare catturata dal pannello, circola nell'impianto grazie a una pompa elettrica. Il fluido transita all'interno del serbatoio di accumulo attraverso una serpentina che funge da scambiatore di calore, riscaldando l'acqua contenuta nel serbatoio.

Il serbatoio di accumulo, coibentato, ha la funzione di immagazzinare l'energia termica per utilizzarla al momento del bisogno. Nel serbatoio sono presenti il circuito primario del collettore, che veicola il liquido scaldato dal sole, e il circuito dell'acqua, collegato all'impianto dell'acqua calda.

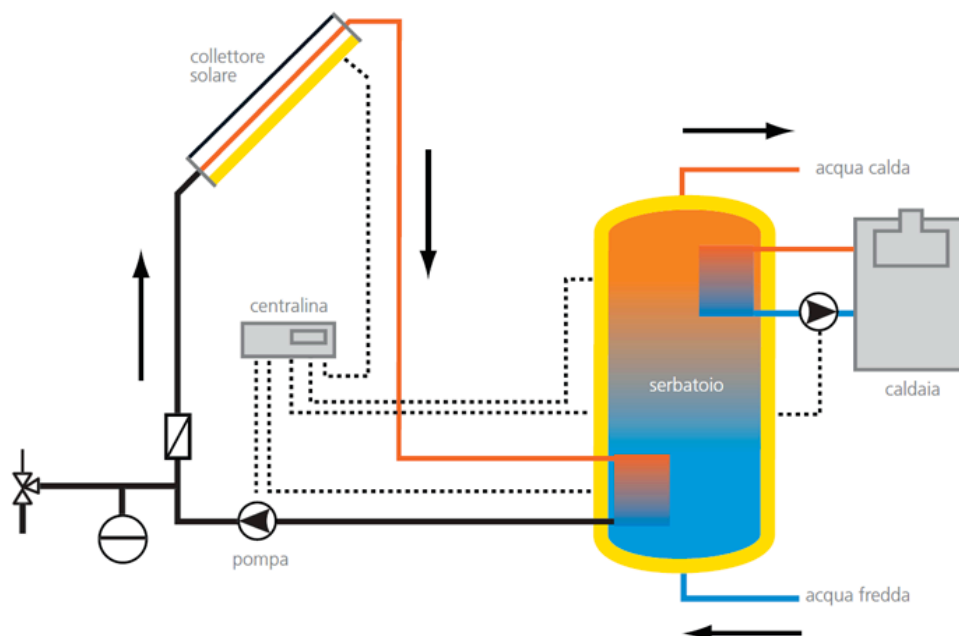


Fig. 91 – Schema di funzionamento dell'impianto solare termico – Fonte: [www.teikosimpianti.com](http://www.teikosimpianti.com)

### 6.3.2 Dimensionamento dell'impianto solare termico

Si stima un fabbisogno di acqua calda sanitaria procapite pari a 10 litri/giorno (valore sovrastimato che comprende anche i consumi della mensa).

Si considera un'utenza di 334 persone così ripartite:

- Bambini: 300 (12 classi);
- Insegnanti: 24 (2 per classe);
- Personale ATA<sup>217</sup>: 10.

$$334 \text{ utenti} \cdot 10 \frac{\text{litri}}{\text{giorno}} = 3340 \frac{\text{litri}}{\text{giorno}}$$

Per stimare la superficie a pannelli necessaria per garantire i valori previsti dalla normativa<sup>218</sup> si utilizza il software di calcolo Polysun, scegliendo l'opzione che prevede una pompa di calore integrata con l'impianto solare termico per una scuola a basso consumo energetico.

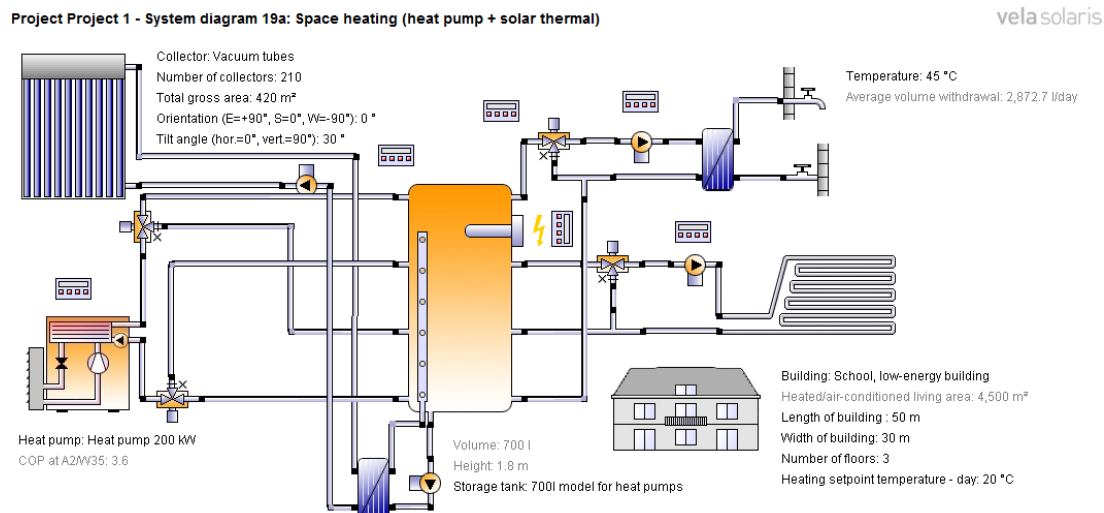


Fig. 92 – Risultato di calcolo dell'impianto solare termico (software di calcolo Polysun)

<sup>217</sup> Personale amministrativo, tecnico e ausiliario (collaboratori scolastici, assistenti tecnici e amministrativi e cuochi).

<sup>218</sup> D. Lgs. 03-03-2011, n. 28 – allegato 3.

Results System diagram - 19a: Space heating (heat pump + solar thermal)			
Name	Symbol	Unit	Year
Solar fraction: fraction of solar energy to system	SFn	%	62.2
Solar fraction hot water	SFnHw	%	78.1
Solar fraction building	SFnBd	%	78.1
Solar thermal energy to the system	Qsol	kWh	29,032
Heat generator energy to the system (solar thermal energ...	Qaux	kWh	17,674.4
Total energy consumption	Quse	kWh	45,424.2
Energy deficit	Qdef	kWh	825.8
Total fuel and/or electricity consumption of the system	Etot	kWh	5,522.6

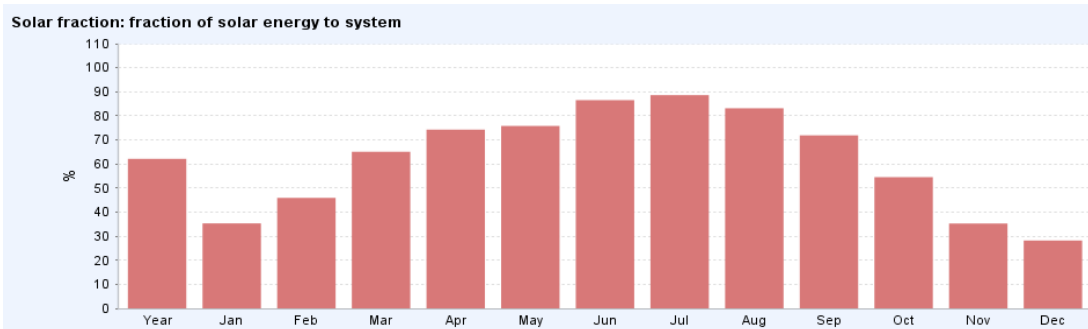


Fig. 93 e Fig. 94 – Risultati di calcolo dell'impianto solare termico (software di calcolo Polysun)

Si ottiene una superficie pari a 240 m<sup>2</sup> corrispondente a 207 pannelli.

Ogni pannello: 1,16 m<sup>2</sup> – 625 mm -1885 mm

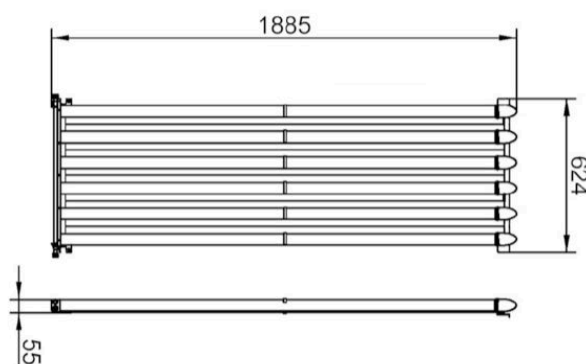


Fig. 95 – Dimensioni del pannello – Fonte: [www.rossatogroup.com](http://www.rossatogroup.com)

Le dimensioni del pannello in pianta sono:

Lunghezza: 1,632 m - Larghezza: 0,624 m - Area: 1,02 m<sup>2</sup>

L'area totale dei pannelli in pianta è di: 210,73 m<sup>2</sup>

Il volume del serbatoio di accumulo è pari a 700 litri.

I pannelli sono installati sulla superficie di copertura piana, disposti su più file orientate a sud e inclinate di 30°.

Pertanto si calcola la distanza ottimale tra la base di una fila e quella della fila successiva con la seguente formula semplificata<sup>219</sup>:

$$D = (0,86 + 1,37) \cdot L$$

$$D = (0,86 + 1,37) \cdot 1,88 = 4,19 \text{ m}$$

Si ricava la distanza tra i pannelli:

$$4,19 - 1,63 = 2,56 \text{ m}$$

I pannelli solari sono in grado di fornire acqua calda e riscaldamento in quantità. Tuttavia, a causa della non programmabilità della fonte primaria, non possono sostituire completamente gli usuali metodi di riscaldamento. È quindi prevista anche una pompa di calore.

Il serbatoio di accumulo e la pompa di calore sono posizionati nel locale impianti a piano terra dell'edificio.

#### 6.4 Impianto fotovoltaico

Sulla copertura si installano pannelli fotovoltaici per la produzione di energia elettrica. Si scelgono pannelli in silicio policristallino di dimensioni 1662 mm x 990 mm con una potenza di picco pari a 270 Watt, costituiti da 60 celle per modulo di dimensioni 156 mm x 156 mm<sup>220</sup>.

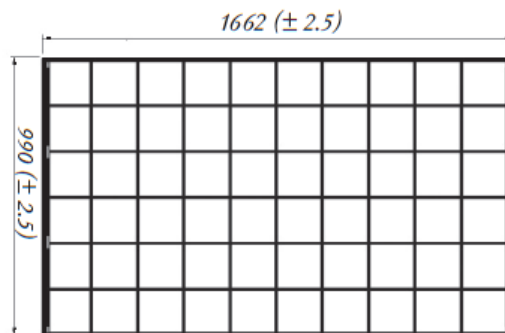


Fig. 96 – Pannello fotovoltaico Serie KK270P – Fonte: [www.kyocerasolar.it](http://www.kyocerasolar.it)

La potenza elettrica minima degli impianti alimentati da fonti rinnovabili indicata dalla normativa per gli edifici di nuova costruzione si calcola con la formula seguente:

<sup>219</sup> [www.ciseonweb.it](http://www.ciseonweb.it).

<sup>220</sup> [www.kyocerasolar.it](http://www.kyocerasolar.it) - pannello fotovoltaico Serie KK270P.

$$P = \frac{1}{K} \cdot S$$

in cui S è la superficie in pianta dell'edificio al livello del terreno misurata in m<sup>2</sup> e K è un coefficiente misurato in m<sup>2</sup>/kW che assume il valore di 65<sup>221</sup>.

$$P = \frac{1}{65} \cdot 1885 = 29 \text{ kW}$$

$$29 \text{ kW} / 270 \text{ W} = 108 \text{ pannelli}$$

Per soddisfare i requisiti richiesti si ottiene un impianto fotovoltaico da 29 kW<sub>p</sub>, disponendo 108 pannelli.

Le dimensioni del pannello in pianta sono:

Lunghezza: 1,438 m - Larghezza: 0,99 m - Area: 1,42 m<sup>2</sup>

L'area totale dei pannelli in pianta è di: 153,71 m<sup>2</sup>

I pannelli sono installati sulla superficie di copertura piana, disposti su più file orientate a sud e inclinate di 30°.

Pertanto si calcola la distanza ottimale tra la base di una fila e quella della fila successiva con la seguente formula semplificata<sup>222</sup>:

$$D = (0,86 + 1,37) \cdot L$$

$$D = (0,86 + 1,37) \cdot 1,662 = 3,71 \text{ m}$$

Si ricava la distanza tra i pannelli:

$$3,71 - 1,44 = 2,27 \text{ m}$$

---

<sup>221</sup> Se la richiesta del titolo edilizio è presentata dal 1° gennaio 2014 al 31 dicembre 2016.

<sup>222</sup> [www.ciseonweb.it](http://www.ciseonweb.it).

## BIBLIOGRAFIA

- AA. VV., *Keeping Schools Safe in Earthquakes*, OECD, 2004, ISBN 9789264016705 (PDF) ;9789264016699(stampa)
- AA. VV., *Performance of School Buildings during the 2002 Molise, Italy, Earthquake*, *Earthquake Spectra*, 05/2004, DOI: 10.1193/1.1769374;
- AA. VV., *Atti del convegno "Quando lo Spazio Insegna"*, Roma 16/05/2012, Indire;
- *Campagnoli Giuseppe*, *L'architettura della scuola - Un'idea per i luoghi della cultura e dell'apprendere*, Franco Angeli, 2007, ISBN 9788846490377;
- *Capanna Alessandra*, *Edifici per la scuola*, Quaderni di architettura dell'ANCE, 2013;
- *Dolce Mauro*, *La sicurezza sismica delle scuole italiane* (reperibile sul sito [www.utsbasilicata.it/attachments/article/260/Prof.%20Dolce.pdf](http://www.utsbasilicata.it/attachments/article/260/Prof.%20Dolce.pdf));
- *Dolce M., Ponzo F.C., Di Cesare A., Arleo G.*, *Progetto di Edifici con Isolamento Sismico*, 2 ed., Collana IUSS Press, Maggioli Editore, 2013, ISBN: 88-6198-050-1;
- *Gottfried Arie* (Curatore), *L'edilizia scolastica, universitaria e per la ricerca - Quaderni del Manuale di progettazione edilizia*, Hoepli, 2006;
- *Hertzberger Herman*, *Huiswerk voor meer herbezame vorm*, "Forum", 3, 1973;
- *Hertzberger Herman*, *Lezioni di architettura - Guide per progettare*, Editori Laterza, 1996, ISBN 9788842048183;
- *Hertzberger Herman*, *Space and Learning: Lessons in Architecture 3*, 010 Publishers, 2003, ISBN-10: 9064506442; ISBN-13: 9789064506444;
- *Mandolesi Enrico*, *Edilizia*, volumi 1-4, Edizioni UTET collana Varia.Architettura;
- *Pavesi Angela Silvia e Zanata Giulia*, *Edilizia scolastica pubblica - Strumenti per la rigenerazione del patrimonio scolastico in Italia*, Maggioli Editore, 2014;

- *Priestley M.J.N., Calvi G.M., Kowalsky M.J., Displacement Based Seismic Design of Structures*, IUSS Press, 2007, ISBN: 88-6198-000-6;
- *Studio Francesca Valan per Ceramica Vogue, Il colore nelle scuole*, 2014;
- *I Rapporto ANCE/CRESME, Lo stato del territorio italiano 2012 – Inseadimento e rischio sismico e idrogeologico*, Roma, 2012;
- XIII Rapporto sicurezza, qualità, accessibilità a scuola – Cittadinanzattiva, 2015;
- XVI Rapporto di Legambiente sulla qualità dell’edilizia scolastica, delle strutture e dei servizi - “Ecosistema Scuola”, 2015;
- Arketipo, n. 83 maggio 2014, Scuole;
- Arketipo, n. 19 dicembre 2007, Scuole e asili;
- AudioDinamika, n. 1 febbraio 2009 Una scuola per amico. Progettare e costruire una scuola: una sfida raccolta con successo;
- Index – Capitolato tecnico 10 – Tetti verdi 02/2012, aggiornamento 04/2014;
- Piano Triennale dell’Offerta Formativa (Istituti Comprensivi: “Ancona Nord”, “Augusto Scocchera”, “Cittadella Centro”, “Grazie Tavernelle”, “Novelli Natalucci”, “Pinocchio Montesicuro”, “Posatora-Piano-Archi”, “Quartieri Nuovi”);
- Relazione tecnica – Verifica di vulnerabilità sismica della scuola “Antognini” in via Bramante, Ancona (realizzata da: Ing. Guerrini, Fattori, Panzini, Ciarrocchi, Cristiani).

## **Sitografia**

- [www.alveox.it](http://www.alveox.it)
- [www.ciseonweb.it](http://www.ciseonweb.it)
- [www.conerobus.it](http://www.conerobus.it)
- [www.coverd.it](http://www.coverd.it)
- [www.fosterandpartners.com](http://www.fosterandpartners.com)
- [it.saint-gobain-glass.com](http://it.saint-gobain-glass.com)



- [www.isotec.it](http://www.isotec.it)
- [www.kalzip.com](http://www.kalzip.com)
- [www.kyocerasolar.it](http://www.kyocerasolar.it)
- [www.light-full.com](http://www.light-full.com)
- [www.pastoreserramenti.it](http://www.pastoreserramenti.it)
- [www.rockwool.it](http://www.rockwool.it)
- [www.rossatogroup.com](http://www.rossatogroup.com)
- [www.schindler.it](http://www.schindler.it)
- [www.sunbreak.it](http://www.sunbreak.it)
- [www.sunglass.it](http://www.sunglass.it)
- [www.tarkett.com](http://www.tarkett.com)
- [www.teikosimpianti.com](http://www.teikosimpianti.com)
- [www.velux.it](http://www.velux.it)
- [it.wikipedia.org/wiki/Ancona](http://it.wikipedia.org/wiki/Ancona)
- [https://it.wikipedia.org/wiki/Parchi\\_pubblici\\_di\\_Ancona](https://it.wikipedia.org/wiki/Parchi_pubblici_di_Ancona)
- [www.promozioneacciaio.org/ambiente/articolo\\_rolex\\_lc.pdf](http://www.promozioneacciaio.org/ambiente/articolo_rolex_lc.pdf)
- [www.archdaily.com/205579/park-brow-community-primary-school-2020-liverpool](http://www.archdaily.com/205579/park-brow-community-primary-school-2020-liverpool)
- [www.architecture.com/StirlingPrize/Awards2015/London/RavenorPrimaryExpansion.aspx](http://www.architecture.com/StirlingPrize/Awards2015/London/RavenorPrimaryExpansion.aspx)

### **Normativa tecnica di riferimento**

- UNI EN 1729-1:2016, Mobili - Sedie e tavoli per istituzioni scolastiche - Parte 1: Dimensioni funzionali (recepisce la EN 1729-1:2015)
- UNI EN 1729-2:2016, Mobili - Sedie e tavoli per istituzioni scolastiche - Parte 2: Requisiti di sicurezza e metodi di prova (recepisce la EN 1729-2:2012 + A1:2015)
- UNI 4856:2009, Mobili per collettività - Arredo per istituzioni scolastiche - Cattedra e sedia per insegnanti - Requisiti di stabilità, resistenza e durabilità

- UNI 10840:2007, Luce e illuminazione - Locali scolastici - Criteri generali per l'illuminazione artificiale e naturale
- Norme UNI: 11018:2003, Rivestimenti e sistemi di ancoraggio per facciate ventilate a montaggio meccanico - Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione e la manutenzione - Rivestimenti lapidei e ceramici
- UNI EN 12464-1:2011, Luce e illuminazione – Illuminazione dei posti di lavoro – Parte 1:Posti di lavoro in interni;
- UNI EN 12600:2004, Vetro per edilizia - Prova del pendolo - Metodo della prova di impatto e classificazione per il vetro piano;
- UNI EN 14434:2010, Superfici verticali di scrittura per istituzioni scolastiche - Requisiti ergonomici, tecnici e di sicurezza e metodi di prova;

## **Legislazione**

- Circolare Ministero Lavori Pubblici del 19 giugno 1968, n. 4809.
- Circolare Ministeriale del 30 aprile 196, n. 1769 “Criteri di valutazione e collaudo dei requisiti acustici nelle costruzioni edilizie”.
- D. Lgs. 03-03-2011, n. 28 – allegato 3, Attuazione della direttiva 2009/28/CE sulla promozione dell’uso dell’energia da fonti rinnovabili, recente modifica e successiva abrogazione delle direttive 2001/77/CE.
- D.M. 18-12-1975 Norme tecniche aggiornate relative all’edilizia scolastica, ivi compresi gli indici minimi di funzionalità didattica, edilizia ed urbanistica da osservarsi nella esecuzione di opere di edilizia scolastica.
- D.M. 19-08-1996 “Approvazione della regola tecnica di prevenzione incendi per la progettazione, costruzione ed esercizio dei locali di intrattenimento e di pubblico spettacolo”.
- D.M. 14-01-2008 “Norme Tecniche per le Costruzioni”.

- D.M. 11-03-2008 coordinato con D.M. 26-01-2010, “Attuazione dell’articolo 1, comma 24, lettera a) della legge 24 dicembre 2007, n. 244, per la definizione dei valori limite di fabbisogno di energia primaria annuo e di trasmittanza termica ai fini dell’applicazione dei commi 344 e 345 dell’articolo 1 della legge 27 dicembre 2006, n. 296”.
- D.P.R. n. 89 del 20 marzo 2009 “Revisione dell’assetto ordinamentale, organizzativo e didattico della scuola dell’infanzia e del primo ciclo di istruzione”.
- Legge del 2 febbraio 1974, n. 64 “Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche”.
- Legge 28 marzo 2003, n.53 – Delega al Governo per la definizione delle norme generali sull’istruzione e dei livelli essenziali delle prestazioni in materia di istruzione e formazione professionale.
- Legge 13 luglio 2015, n. 107 – Riforma del sistema nazionale di istruzione e formazione e delega per il riordino delle disposizioni legislative vigenti.
- Linee Guida del 11 aprile 2013. Norme tecniche quadro, contenenti gli indici minimi e massimi di funzionalità urbanistica, edilizia anche con riferimento alle tecnologie in materia di efficienza e risparmio energetico e produzione da fonti energetiche rinnovabili, e didattica indispensabili a garantire indirizzi progettuali di riferimento adeguati e omogenei sul territorio nazionale.
- Ordinanza n. 3274 del Presidente del Consiglio dei Ministri 20 marzo 2003 - “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”.
- Ordinanza n. 3519 del Presidente del Consiglio dei Ministri 28 aprile 2006 - “Criteri generali per l’individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l’aggiornamento degli elenchi delle medesime zone”.

- Regio Decreto Legge n. 640 del 25 marzo 1935. Nuovo testo delle norme tecniche di edilizia con speciali prescrizioni per le località colpite dai terremoti.

## **Ringraziamenti**

Ringrazio i Professori Alessandro Greco e Michele Calvi per l'attenzione e la precisione con cui hanno seguito la realizzazione di questo lavoro. Ringrazio inoltre il Professor Francesco Leoni e l'Ing. Roberto Franzolin per la gentile disponibilità.

Grazie ai miei genitori per aver sempre creduto in me e per essermi stati vicino nei momenti di bisogno, per avermi sempre lasciata libera di scegliere, fornendomi tutto l'appoggio per poterlo fare al meglio.

A Bubo e Cocò per aver colorato e ravvivato le giornate della mia infanzia, grazie "Fratellini Scagliotti" per tutte le risate e l'allegria che continuate a regalarmi!

Ai nonni, grazie per tutta la pazienza e il tempo che ci avete dedicato.

Un grazie al Collegio Nuovo, luogo dove ho trascorso cinque splendidi anni universitari, per la grande opportunità che mi ha offerto. Grazie alla Rettrice e a tutto il personale per la passione e la dedizione con le quali ogni giorno gestiscono questa istituzione.

Un grazie di cuore alle Nuovine, per avermi supportato (e sopportato!), grazie perché avete reso questi anni indimenticabili: ad Andre e Mari per le tante e recenti chiacchierate e perché se questo "sesto anno" è stato bello quanto gli altri il merito è soprattutto vostro, a Chiara e Sara per aver reso molto piacevoli tanti allenamenti e per le pause gelato che hanno raffrescato le nostre sessioni estive, a Linda per esserci stata sempre dal test ad oggi e per avermi trasmesso la voglia di girare il mondo, a Vale per essere riuscita a starmi molto vicina anche da Heidelberg, a DJ Franz per aver allietato giorni (e notti) in biblioteca, a Sofi perché non ha mai smesso di incoraggiarmi, a Mèr e Flavia per avermi fomentato in una giusta battaglia [Erasmus!], a Poma per aver condiviso le preoccupazioni per gli "esami tosti" dei primi anni, a Bea per aver portato spesso allegria a pranzo e cena, a Erica per aver reso la "sezione" un posto più ospitale.

Grazie a tutti gli amici collegiali: ad Egidio, per essere un amico fidato, grazie per avermi ricordato quanto sia prezioso e fuggevole il tempo (soprattutto in prossimità di una scadenza!), a Camillo, il più europeo, per essermi stato vicino da Bruxelles, a Ronca e alle sue maratone che mi hanno tenuta attaccata alla realtà in questi mesi di lavoro, a Salvo e alla nostra amicizia ritrovata e a Jack, compagno di buona rappresentanza. Grazie anche a tutti i collegiali che hanno reso indimenticabili Xcool, Quattroquarti, cene goliardiche e tanto altro in questi 5 anni universitari.

A Fabio, per la compagnia durante diverse gare matematiche e la presentazione in rima (non era da tutti accettarla!).

Alla mia amica lontana Noémie per tutti i momenti felici trascorsi in Germania, Francia ed Italia, e a tutti gli amici di Gießen. Grazie per aver reso piacevole il mio Erasmus!

A Martina, perché solo tu puoi comprendere le difficoltà di una vita da Ing. Arch. collegiale iussina, grazie per tutto il supporto!

Ad Ale, il miglior compagno di gruppo che potessi trovare, grazie per le giornate trascorse insieme e per aver dato brio e vivacità a molti pomeriggi di studio.

Ai mister più rivoluzionari che il CN abbia mai avuto: grazie Fiambe e grazie Mich per avermi insegnato a giocare a calcio, per la pazienza infinita e tutte le rassicurazioni, sia prima di tirare i rigori sia prima di consegnare la tesi!

Grazie a chi ha condiviso con me la passione per la politica. A chi ha cercato di insegnarmi ad essere diplomatica e a scrivere in “giuridichese”, a scendere in piazza, stare fra gli studenti e lottare per ogni giusta causa. Grazie a tutti i compagni del *Coordinamento per il Diritto allo Studio* per i due anni trascorsi insieme, intensi ed impegnativi ma straordinari: che a maggio il sole possa continuare a splendere su questa università!

Un grazie a tutti gli amici di Casale Monferrato:

Al Prof. Deandrea e a tutto il gruppo di atletica della ciclabile, grazie per avermi trasmesso il piacere di correre, per aver condiviso vittorie e sconfitte e per avermi insegnato il valore di un impegno costante.

Ad Elena per i pomeriggi trascorsi insieme e per aver condiviso le storie più assurde!

A Michele, perché la nostra amicizia non teme né il passare del tempo né la lontananza.

E un grazie a chi è ancora al mio fianco dopo più di vent'anni, a chi ha condiviso gioie, risate e lacrime, a te Ceci, per essere un'amica davvero speciale.