



**POLITECNICO**  
MILANO 1863

Scuola di Architettura, Urbanistica e Ingegneria delle Costruzioni

Corso di laurea in Ingegneria Edile - Architettura

Anno accademico 2016 - 2017

Una Scuola per tutti



**Three**

Autori:

Daide Cupani 747681

Gabriele Longo 761797

Andrea Valsecchi 747354

Relatrice:

Prof.essa Manuela Grecchi

Correlatore:

Ing. Giulio Zani





# INDICE

<b>ABSTRACT</b>	<b>XI</b>		
<b>01 IL TEMA</b>	<b>1</b>		
L'EDILIZIA SCOLASTICA DEL FUTURO	3		
<b>02 ANALISI PRELIMINARI</b>	<b>5</b>		
<b>2.1 CASATENOVO</b>	<b>7</b>		
2.1.1 Inquadramento territoriale	7		
2.1.2 Evoluzione storica	9		
2.1.2.1 Le origini romane	9		
2.1.2.2 Le prime testimonianze scritte	10		
2.1.2.3 Il "regno" dei Casati	12		
2.1.2.4 Lo sviluppo industriale	13		
2.1.3 Analisi urbanistica	15		
2.1.3.1 Il sistema della mobilità	17		
2.1.3.2 Alcuni edifici storici	18		
2.1.3.3 Edifici scolastici	23		
2.1.3.4 Centri sportivi	28		
2.1.3.5 Centri culturali	29		
2.1.4 Analisi demografica	30		
2.1.4.1 Sviluppo storico demografico	30		
2.1.4.2 Età della popolazione	32		
2.1.4.3 Qualità della vita	33		
2.1.5 Analisi morfologica	34		
2.1.5.1 Orografia e territorio	34		
2.1.5.2 Parco Regionale della Valle del Lambro	35		
2.1.5.3 P.L.I.S. dei Colli Briantei	36		
2.1.5.4 Verde pubblico	37		
2.1.5.5 Valutazione sismica	38		
2.1.6 Analisi bioclimatica	39		
2.1.6.1 I cambiamenti climatici	39		
2.1.6.2 La situazione attuale	41		
2.1.6.3 Radiazione solare	42		
<b>2.2 AREA DI PROGETTO</b>	<b>44</b>		
2.2.1 Localizzazione	44		
2.2.1.1 Descrizione area di progetto	44		
2.2.1.2 Inquadramento catastale	45		
2.2.1.3 Inquadramento storico	45		
2.2.2.3 Analisi FDOM - SWOT	46		

2.2.2 Bando di concorso	46	3.2.2 Spazi per l'apprendimento	69
2.2.2.1 Tema	46	3.2.2.1 Tipologie edilizie scolastiche	69
2.2.2.2 Richieste progettuali	46	3.2.2.2 La nuova scuola	73
		3.2.2.4 Modello Indire "1+4"	74
2.2.4 Vincoli ambientali	48	3.2.4 Qualità dello spazio	76
2.2.4.1 Vincoli ambientali su larga scala	48	3.2.4.1 Flessibilità e multifunzionalità	76
2.2.4.2 Vincoli su scala di progetto	49	3.2.4.2 Tecnologia e apprendimento	77
2.2.4.2 Verifica del piano di assetto idrogeologico e classificazione geologica	49	3.2.4.2 Sostenibilità ambientale	78
		3.2.4.3 L'importanza del colore	79
4.2.5 Rilievo fotografico	50	<b>3.3 PROGETTARE LO SPAZIO EDUCATIVO</b>	<b>80</b>
<b>03 LA SCUOLA</b>	<b>57</b>	3.3.1 Riferimenti progettuali	80
<b>3.1 IL SISTEMA EDUCATIVO</b>	<b>59</b>	3.3.1.1 Ørestad Gymnasium	80
3.1.1 La scuola in Italia	59	3.2.3.2 Vittra Telefonplan	82
3.1.1.1 Il sistema scolastico italiano	59	3.2.3.3 4het Gymnasium	83
3.1.2.1 Finlandia	63	3.2.3 Normative di riferimento	85
3.1.2.2 Paesi Bassi	64	3.2.3.1 Normative principali	85
3.1.2.3 Regno Unito	65	3.2.3.2 Nuove Linee Guida	86
<b>3.2 LO SPAZIO EDUCATIVO</b>	<b>66</b>	<b>04 ARCHITETTONICO</b>	<b>89</b>
3.2.1 Pedagogia e architettura	66	<b>4.1 UNA SCUOLA COME PUNTO DI RIFERIMENTO PER LA COMUNITÀ LOCALE</b>	<b>91</b>
3.2.1.1 Brevi cenni storici	66		
3.2.1.2 Il ruolo della scuola nella società attuale	68		

4.1.1 Una scuola - centro civico	91	4.4.3 Sezioni verticali	106
4.1.2 Rapporto con il contesto	93	4.4.5 prospetti	108
4.1.3 Una nuova area verde	94	4.4.5.1 Prospetto nord-est	108
4.1.4 Gli spazi della cultura	95	4.4.5.2 Prospetto sud-est	108
<b>4.2 CONCEPT</b>	<b>96</b>	4.4.5.3 Prospetto sud-ovest	109
4.2.1 Configurazione degli spazi	96	4.4.5.4 Prospetto nord-ovest	109
4.2.2 Volumetrico	97	4.4.6 Render	110
<b>4.3 MASTERPLAN</b>	<b>98</b>	<b>4.6 LAYOUT FUNZIONALE</b>	<b>118</b>
4.3.1 Accessibilità al piano terra	98	4.6.1 L'organizzazione funzionale	118
4.3.2 Planivolumetrico	99	4.6.1.1 La "piazza interna" dell'edificio	118
<b>4.4 IL PROGETTO</b>	<b>100</b>	4.3.1.2 Lo spazio per la didattica	120
4.4.1 L'organizzazione degli spazi	100	4.6.1.3 La biblioteca e lo spazio espositivo	122
4.4.2 Sezioni orizzontali	102	4.6.1.4 La palestra	123
4.4.2.1 Piano interrato	102	4.6.1.5 Il Piano primo	125
4.4.2.2 Piano terra	103	4.6.1.6 Lo spazio ristoro e bar	126
4.4.2.3 Piano primo	104	4.6.1.7 Il centro cottura	126
4.4.2.4 Pianta delle coperture	105	4.6.1.8 Gli spazi esterni e di connessione con l'esterno	129
		4.6.1.9 La copertura	130
		4.6.2 La flessibilità	131
		4.6.2.1 La modularità	131
		4.6.2.2 Breve termine	133

4.6.2.3 Medio termine	134	5.2.3.2 Essicazione delle tavole	146
4.6.2.4 Lungo termine	134	5.2.3.3 Larghezza e spessore delle lamelle	147
<b>05 LE STRUTTURE</b>	<b>135</b>	5.2.3.4 Giuntura di testa delle tavole	147
<b>5.1 IL LEGNO</b>	<b>137</b>	5.2.3.5 Incollaggio delle lamelle e formazione del pacco	148
5.1.1 Un materiale naturale	137	<b>5.2.4 Sistemi strutturali di progetto</b>	<b>149</b>
5.1.2 Proprietà del materiale	139	5.2.4.1 Sistemi trave-pilastro	149
5.1.2.1 Comportamento igroscopico	139	5.2.4.1 Sistemi massicci con pannelli XLAM	149
5.1.2.2 Resistenza meccanica	140	<b>5.2.5 Inquadramento normativo</b>	<b>151</b>
5.1.2.3 Deformazioni sotto carico	141	5.2.6 Analisi con il metodo agli stati limite	151
5.1.2.4 Biodegradamento	141	5.2.6.1 Metodo semi-probabilistico	151
5.1.3 Una risorsa sostenibile	142	5.2.6.2 Classi di durata del carico	152
5.1.3.1 Clima e CO <sup>2</sup>	142	5.2.6.3 Classi di servizio	153
5.1.3.2 Gestione sostenibile delle foreste	143	5.2.6.4 Azioni di calcolo: SLU	153
<b>5.2 IL LEGNO LAMELLARE INCOLLATO</b>	<b>144</b>	<b>5.3 RESISTENZA AL FUOCO</b>	<b>156</b>
5.2.1 Storia e sviluppo	144	5.3.1 Il legno e l'incendio	156
5.2.2 I vantaggi del legno lamellare strutturale	145	5.3.2 Progetto della struttura resistente al fuoco	157
5.2.3 La produzione	146	5.3.2.1 Progetto degli elementi:	
5.2.3.1 Generalità	146		

approccio normativo	157	5.4.3.2 Trave T3P: verifiche SLE	181
5.3.2.1 Progetto dei collegamenti:		5.4.3.3 Pilastro P3P: verifica di resistenza	184
approccio normativo	158	5.4.3.4 Telaio longitudinale: verifiche alla deformabilità	185
<b>5.4 IL PROGETTO STRUTTURALE</b>	<b>160</b>	5.4.3.5 Connessione rigida trave-pilastro	186
5.4.1 Analisi dei carichi sulla struttura	160	5.4.3.6 Telaio trasversale: dimensionamento dei controventi	188
5.4.1.1 Classificazione delle azioni	160	5.4.3.7 Connessione del tirante metallico	190
5.4.1.2 Carichi permanenti (G)	160	Dove:	191
5.4.1.3 Carichi di esercizio (Q <sub>1</sub> )	164	5.4.3.8 Resistenza al fuoco:	
5.4.1.4 Azione della neve (Q <sub>2</sub> )	164	verifiche con il metodo della sezione efficace	191
5.4.1.5 Azione del vento (Q <sub>3</sub> )	165	<b>06 SISTEMA TECNOLOGICO E IMPIANTI</b>	<b>195</b>
5.4.1.6 Azione sismica (E)	167	<b>6.1 SOLUZIONI TECNOLOGICHE</b>	<b>197</b>
5.4.2 Struttura trave-pilastro: la scuola	169	6.1.1 Termoigrometria	197
5.4.2.1 Trave secondaria T2CP: verifiche SLU	170	6.1.2.1 Chiusure orizzontali	198
5.4.2.2 Trave secondaria T2CP: verifiche SLE	171	6.1.2 Stratigrafie	198
5.4.2.3 Trave primaria T1CP:		6.1.2.2 Chiusure verticali	201
dimensionamento e verifiche	173	6.1.2.3 Partizioni orizzontali	202
5.4.2.4 Pilastro P11H:		6.1.2.4 Partizioni verticali	203
dimensionamento e verifiche	174	6.1.3 Sezioni	204
5.4.2.5 Connessione trave-trave:		6.1.3.1 Blow up facciata sud-ovest	204
dimensionamento della staffa in alluminio	176	6.1.4 Dettagli tecnici	206
5.4.2.6 Controventi in lastre XLAM	178		
5.4.3 Struttura a portale: la palestra	180		
5.4.3.1 Trave T3P: verifiche SLU	180		

6.1.4.1 Nodo 01	206	<b>7.1 SVILUPPO SOSTENIBILE</b>	<b>233</b>
6.1.4.2 Nodo 02	207	7.1.1 L'Architettura Sostenibile	234
6.1.4.3 Nodo 03	208	7.1.2 Realizzare un edificio secondo i principi dell'ecosostenibilità	236
6.1.4.4 Nodo 04	209	<b>7.2 CERTIFICARE LA SOSTENIBILITÀ</b>	<b>237</b>
<b>6.2 SOLUZIONE IMPIANTISTICHE</b>	<b>210</b>	7.2.1 Differenza tra certificazione ambientale ed energetica	237
6.2.1 Riscaldamento e raffrescamento	210	7.2.2 Il Protocollo LEED	238
6.2.2 Ventilazione meccanizzata	213	7.2.2.1 Struttura sistema di valutazione	239
6.2.3 Recuperatore di calore	215	7.2.2.2 Aree Tematiche	240
6.2.4 Pompa di calore geotermica	215	<b>7.3 UNA SCUOLA LEED GOLD</b>	<b>242</b>
6.2.5 Fotovoltaico	216	7.3.1 Sostenibilità del Sito (SS)	242
6.2.6 Raccolta acque piovane	217	7.3.2 Gestione delle Acque (GA)	261
<b>6.3 ANALISI ILLUMINOTECNICA</b>	<b>219</b>	7.3.3 Energia e Atmosfera (EA)	265
6.3.1 LA LUCE NATURALE	219	7.3.4 Materiali e Risorse (MR)	274
6.3.1.1 IMPORTANZA DELLA LUCE NATURALE	220	7.3.5 Qualità ambientale Interna (QI)	282
6.3.2 Grandezze illuminotecniche	222		
6.3.3 Normativa	223		
6.3.4 Illuminazione naturale delle aule	224		
<b>07 SOSTENIBILITÀ</b>	<b>231</b>		

7.3.6 Innovazione della Progettazione (IP)	295
7.3.7 Priorità Regionale	296
7.3.9 Potenzialità e Criticità	298
<b>7.4 LA CERTIFICAZIONE ENERGETICA</b>	<b>300</b>
7.4.1 Normativa italiana	300
7.4.2 Attestato di prestazione energetica della Scuola	301
<b>CONCLUSIONI</b>	<b>305</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>309</b>
<b>INDICE DELLE FIGURE</b>	<b>317</b>
<b>INDICI DELLE TABELLE</b>	<b>327</b>



ABSTRACT

*È partendo da un'esigenza reale del Comune di Casatenovo, quale la progettazione per il nuovo edificio scolastico della scuola secondaria di primo grado "M. G. Agnesi", che nasce "Three – una Scuola per tutti".*

*Il nostro obiettivo è stato fin da subito quello di concentrare in un unico edificio diverse funzioni pubbliche. Secondo noi, pianificare e realizzare luoghi per la cultura intesi come spazi per la comunità, deve essere un tema posto al centro della riqualifica delle nostre città.*

*Sulla base degli studi preliminari del contesto urbano e dei nuovi modelli scolastici Europei ed Italiani abbiamo potuto definire uno spazio necessario non solo alla comunità di Casatenovo, ma anche ai comuni limitrofi. Ripensare dunque la scuola non solo come luogo di formazione ma come integratore sociale e comunitario, ci ha permesso di sviluppare il tema della multifunzionalità. Rivolgendosi non solo alla popolazione scolastica per cui viene indetto il Bando di gara del Comune, ma a tutta la cittadinanza, gli spazi sono progettati per funzionare oltre che sinergicamente anche in modo tra loro autonomo.*

*La posizione nel contesto naturale della piana di Rogoredo ci ha stimolato a scegliere il legno come materiale primo per la progettazione dell'edificio. Strutture e rivestimenti sono pensati per conferire all'edificio un carattere accogliente e la composizione delle forme ben definita rimarca la differenziazione dello spazio interno.*

*In termini di sostenibilità ambientale e comfort interno, oltre alla certificazione energetica richiesta da normativa, si è scelto di seguire il protocollo "LEED for Schools" come strumento di supporto alle strategie di progettazione. Attraverso il rispetto dei vari obiettivi prefissati dal protocollo americano, abbiamo potuto sviluppare dei temi che vanno oltre gli aspetti di produzione e consumo di energia, consentendoci di progettare nel complesso una scuola innovativa anche sotto questo punto di vista.*

*We have started from the real need of the Municipality of Casatenovo to plan the new middle school "M.G. Agnesi" building and to create "Three – A School for everybody".*

*Since the beginning, our target has been to center in a single building various public functions.*

*We believe that the core topic of the retraining of our towns is to plan and implement cultural sites as spaces for the all the community. We have based on the preparatory studies of the local context and on the Italian and European new school standards and we have defined a needful space not only for the Casatenovo community but also for the neighboring communities.*

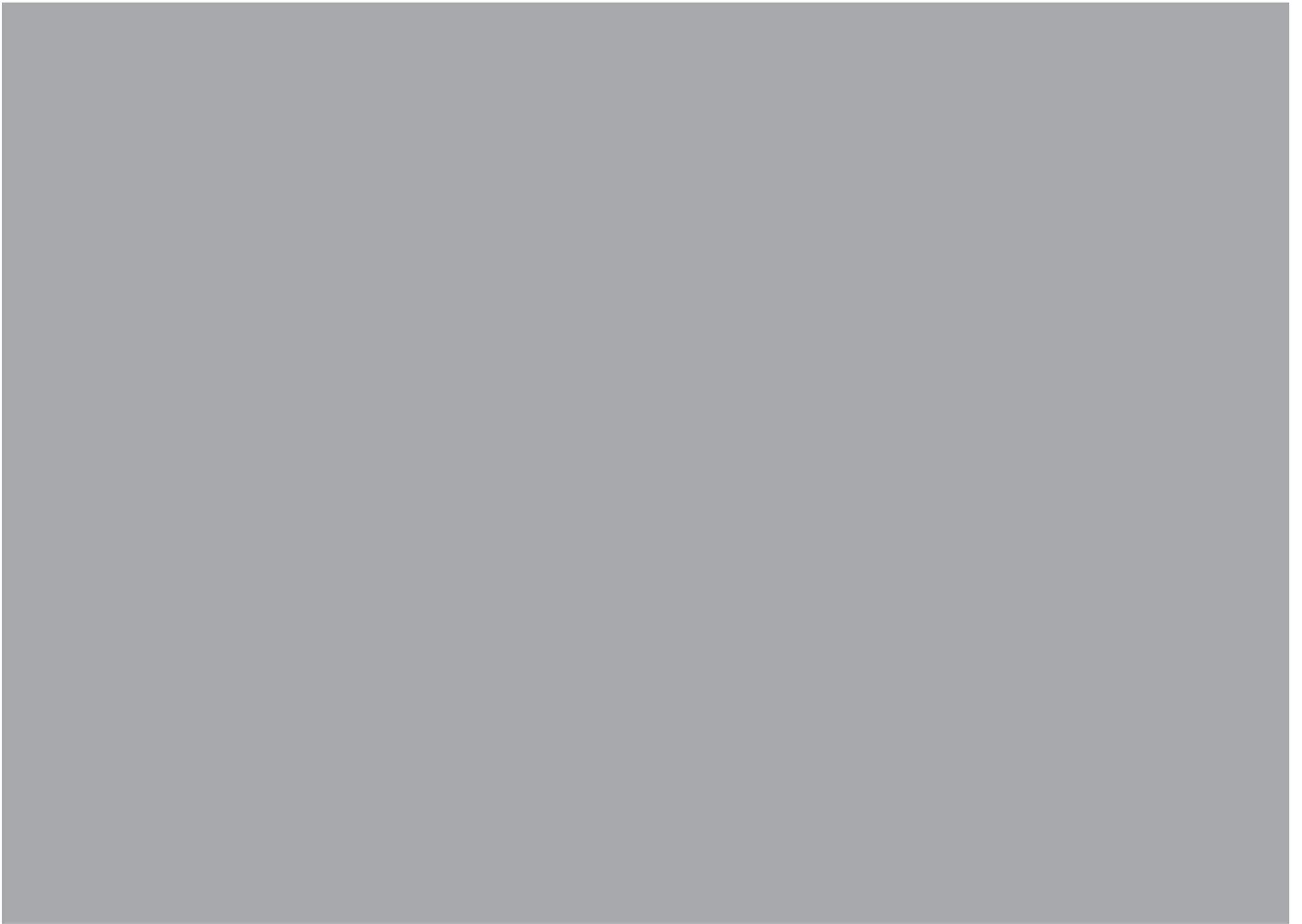
*The school has been reviewed not only as a training site but also as a social and community location, that letted us to develop the topic of multifunctionality.*

*The spaces are planned to act both in a mutual and in an independent way and they will be used not only by the school population to which the contest is delivered but also by the rest of the citizens.*

*Considering the natural environment of the Rogoredo plain, wood has been used as the main material for the design of the building. The cozy aspect of the building has been obtained by the structures and by the outer covering remarking the diversity of the indoor well distinct spaces in composition of shapes.*

*To ensure the environmental sustainability and the indoor comfort, in addition to the energy-giving certification required by the standards, the protocol "LEED for Schools" has been respected as support tool for the design strategies.*

*Complying with the fixed targets of the American protocol, we have been able to develop some topics in addition to the features of production and energy consumption and we have had the possibility to project an innovative school also from this point of view.*



01

IL TEMA

*"Senza paradossi si può affermare che l'architettura è proprio l'edilizia più utile, in quanto, oltre alla destinazione pratica e all'organismo tecnico, riflette l'uso psicologico e spirituale."  
Bruno Zevi*

## L'EDILIZIA SCOLASTICA DEL FUTURO

L'obiettivo di questo capitolo è trasmettere gli aspetti che ci hanno incoraggiato a scegliere e sviluppare il tema dell'edilizia scolastica per il nostro lavoro di tesi.

Si tratta di un argomento attuale e in evoluzione. Nel 2013 le nuove Linee Guida sull'edilizia messe a punto dal MIUR hanno dato il via alla definizione delle caratteristiche delle scuole del futuro.

Le Linee Guida rinnovano i criteri per la progettazione dello spazio e delle dotazioni per la scuola del nuovo millennio. Per questo motivo si discostano dallo stile prescrittivo delle precedenti, risalenti al 1975. La nuova logica, infatti, è di tipo "prestazionale", e rende i criteri di progettazione più agevolmente adattabili alle esigenze didattiche e organizzative di una scuola in continuo mutamento. È necessario

dunque riconfigurare le architetture interne, proponendo una concezione dello spazio differente da un modello di organizzazione della didattica rimasto ancorato alla centralità della lezione frontale. Le Linee Guida propongono invece spazi modulari, facilmente configurabili e in grado di rispondere a contesti educativi sempre diversi, ambienti plastici e flessibili, funzionali ai sistemi di insegnamento e apprendimento più avanzati. Se infatti cambiano le metodologie della didattica, superando l'impostazione frontale, anche la realizzazione degli edifici scolastici dovrà rispondere a parametri e criteri architettonici e dell'organizzazione dello spazio del tutto nuovi. Si apre una nuova fase storica e una nuova prospettiva dove bisogna riconsiderare l'edilizia scolastica alla luce delle nuove necessità della didattica e del risparmio energetico

e manutentivo. All'aspetto didattico e funzionale si affianca l'importante tema della rigenerazione del patrimonio scolastico, per renderlo più adatto all'evoluzione tecnologica e rispondente ai criteri di sicurezza.

Con questa premessa gli edifici scolastici cambieranno, e con le classi scompariranno i lunghi e tristi corridoi per lasciare spazio a organizzazioni più flessibili e articolate dove le energie degli studenti non saranno compresse e limitate, ma libere di interagire in un ambiente fluido e flessibile. Nuove modalità di apprendimento legate al lavoro di gruppo o individuale, al gioco e alla creatività sostituiranno i vecchi metodi didattici. Imparare in spazi predisposti per proiezioni, o svolgere attività di gruppo in laboratori attrezzati, ma anche studiare in solitudine o concentrarsi isolandosi dal gruppo se necessario.

L'argomento è stimolante e nel maggio 2016 è stato pubblicato dal Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca il concorso di idee per la realizzazione di "Scuole Innovative", 51 edifici scolastici di nuova concezione. Il concorso è tuttora in fase di svolgimento e in attesa di valutazione dei progetti presentati.

È stato interessante affrontare questo attuale argomento applicato ad una scuola superiore di primo grado, in quanto le linee guida siano ben consolidate per quanto riguarda le scuole dell'infanzia, ma lo sono meno per i successivi anni di scuola dell'obbligo. Ciò ha comportato un grande lavoro di studio, per poi tradurre le idee inerenti ai concetti di nuova didattica e apprendimento all'interno di un edificio, frutto quindi di nuove considerazioni su aspetti sociali e educativi.

02

ANALISI PRELIMINARI

## 2.1 CASATENOVO

### 2.1.1 Inquadramento territoriale

Il Comune di Casatenovo è posto al limite sud occidentale della Provincia di Lecco, sul pendio a valle della ruga morenica di Monticello, dove la fascia collinare della Brianza lecchese scende nell'alta pianura milanese compresa tra l'Adda e il Lambro. Dà il nome a uno dei circondari più importanti della Provincia di Lecco, il così detto "Casatese", costituito dai Comuni di: Barzago, Barzanò, Bulciago, Cassago Brianza, Castello di Brianza, Cremella, Missaglia, Monticello Brianza, Nibionno, Sirtori e Viganò. Confina, a nord, con Monticello Brianza, a ovest con Besana in Brianza e Correzzana (entrambi in provincia di Monza e Brianza), a est con Missaglia, a sud con Lomagna, Usmate Velate, Lesmo e Camparada (gli ultimi tre in provincia di Monza e Brianza).

E' uno dei Comuni più estesi e importanti della Provincia di Lecco, in termini demografici, territoriali ed economici, con un'estensione superficiale di 12,64 Km si colloca nel cuore della Brianza in posizione pressoché equidistante tra Monza e Lecco. Nonostante non sia servito da una linea ferroviaria, è collegato alle due province dalla viabilità principale della Strada provinciale 51 della Santa, intermedia tra la Statale 36 e la nuova Valassina, dalla Strada Provinciale 54, che collega le direttrici principali



FIG. 2.1.1  
Stemmi del  
Comune di  
Casatenovo

sopra dette in senso est-ovest a nord del centro di Casatenovo e dalla Provinciale 55, che connette il centro con Usmate ed i collegamenti con Lomagna e la Tangenziale Est di Milano. Il territorio è storicamente diviso in frazioni, i cui nuclei principali sono perfettamente localizzati e riconoscibili fin dal Catasto Teresiano: Galgiana, Cascina Bracchi, Rogoredo, Valaperta, Rimoldo e Campofiorengo, oltre, naturalmente, a quello che viene da molti definito "Capoluogo" (forse perché da sempre sede storica del Municipio), cioè Casatenovo Centro. Altri piccoli nuclei si sono sviluppati nel tempo attorno ad alcune cascine: Giovenigo, Rancate, Toscana, Gemella, Modromeno, Bernaga, solo per ricordare le principali. Da sottolineare la presenza di almeno una ventina di cascine isolate di particolare pregio, oltre a diverse ville e dimore nobiliare di notevole interesse dal punto di vista storico-architettonico.

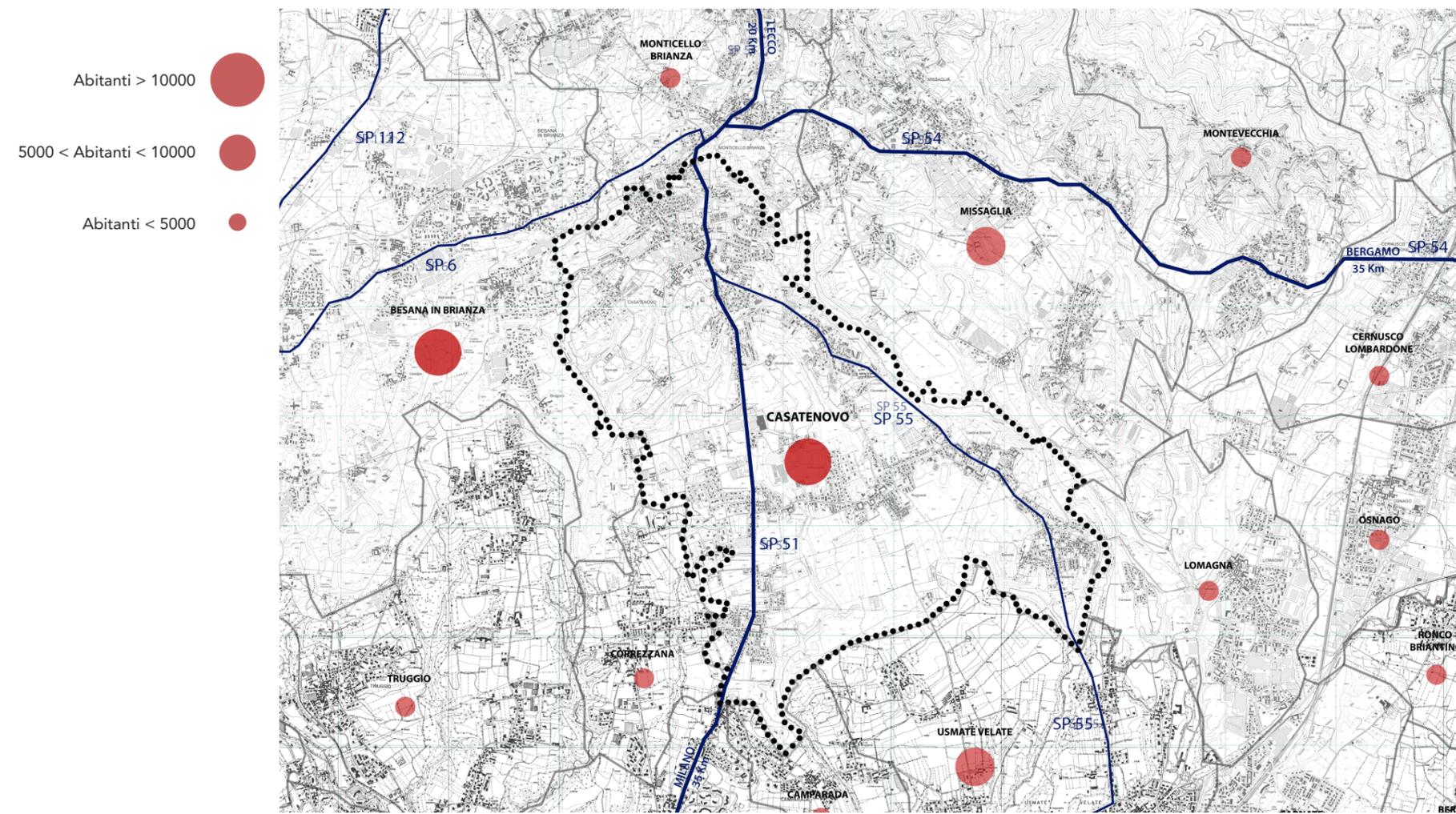


FIG. 2.1.2 Casatenovo inquadramento territoriale

La porzione maggiormente urbanizzata del territorio è quella che si è sviluppata attorno al "Capoluogo" e lungo le tre direttrici storiche: l'asse nord-sud rappresentato dalla ex SP 51 "La Santa", che attraversa l'intero Comune, l'asse dell'ex SP 54, che collega il Capoluogo alle frazioni di Galgiana, Cascina Bracchi e Valperta, e la Via San Gaetano che collega i due assi passando per Rogoredo.

Con la sua organizzazione urbana policentrica presenta un considerevole numero di aree ad alto contenuto ambientale e paesaggistico in particolare il territorio è caratterizzato ancora delle parti boscate anche se solo lungo i pendii più scoscesi e lungo i corsi d'acqua Pegorino, Lavandaia e Nava, che costituiscono il sistema idrografico principale e le rogge Molgorana e La Folgora che costituiscono il sistema idrografico secondario.

### 2.1.2 Evoluzione storica

#### 2.1.2.1 Le origini romane

Le origini di Casatenovo sono molto antiche e, anche se il paese in quanto unità territoriale sorse in epoca romana, sicuramente già in precedenza alcuni nuclei gallici si insediarono nella zona, come testimoniano alcuni reperti (vasi ed urne cinerarie riferibili alla popolazione insubre) venuti alla luce nel secolo scorso.

Per ciò che concerne i romani, le prime notizie storiche relative a Casatenovo risalgono al tempo di Carlo II Calvo (nipote di

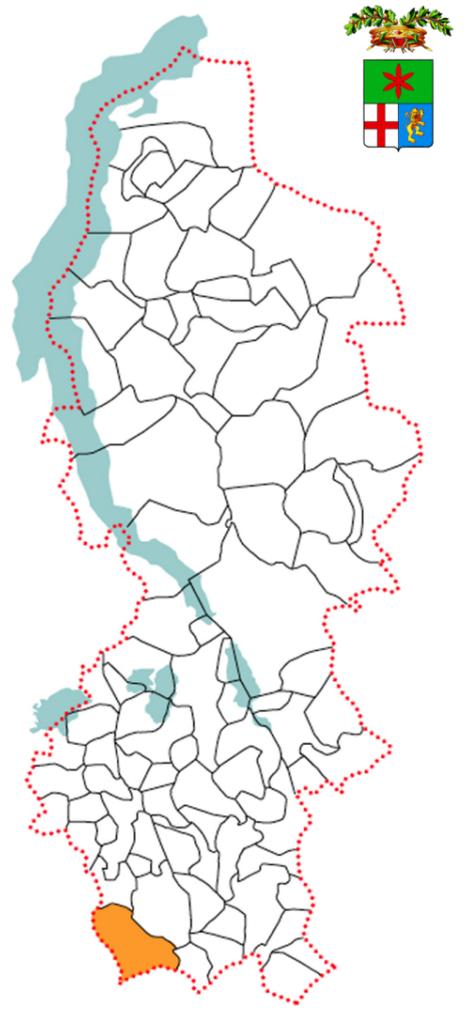


FIG. 2.1.3 Casatenovo nel territorio della Provincia di Lecco

Carlo Magno), erede di quel Ludovico il Pio che sottrasse ai Longobardi il predominio sull'Italia e che reintegrò il culto cristiano nelle terre lombarde. Ed è in questo tormentato periodo di restaurazione cristiana, con l'insediamento a Monza di una sovrana cattolica, che sorsero e si moltiplicarono nelle terre milanesi le "Pievi", vale a dire le chiese presbiteriali dove si amministravano le potestà arcivescove e la cura evangelica del popolo di Dio.

Intorno al 1870 furono scoperte alcune tombe contenenti oggetti in ceramica, ferro e rame ed un cippo sepolcrale di forma quadrata, attribuito al IV secolo, sul quale si trova una scritta che testimonia come Casatenovo fosse luogo di una certa importanza: "Lucili Domestici Valeriani optionis centuriae III ex collegio fabrorum et centenariorum qui vixit annis XXVII II dies VIII horas III". Il testo si riferisce, infatti, a Lucilio Domestico Valeriano, iscritto al collegio dei Fabbri e dei Centenari.

Il collegio dei Fabbri, importante corpo della magistratura militare con il cui compito di dirigere le opere di fortificazione e di approntare tutte le armi da difesa e da offesa, si fuse con il collegio dei Centenari che aveva invece il compito di curarsi del vestiario dei militari, nel IV secolo attribuendo dunque al sepolcro lo stesso periodo. Nel 1850, infine, sotto l'altare dell'antica chiesa di Santa Margherita fu rinvenuta un'ara quadrata, nella quale è incisa la seguente iscrizione: "MERCURIC MICIRIC PANDARUS VOTUM SOLVIT LIBENS MERITO". Quest'ara serviva da sostegno alla pietra dell'altare e ciò è spiegabile se si considera che, dopo l'avvento del



FIG. 2.1.4  
Villa Quattro Valli

Cristianesimo e la conseguente distruzione dei tempi pagani, ciò che rimaneva di questi ultimi veniva impiegato nella costruzione di nuove chiese, come a concludere, destinando gli antichi simulacri al sostegno degli altari, la vittoria della nuova religione sulle credenze passate.

### 2.1.2.2 Le prime testimonianze scritte

La prima citazione scritta che testimonia l'esistenza di Casatenovo risale all'867, anno nel quale un ministro dell'imperatore, di nome Gherulfo, consegnò tutti i suoi beni, situati in Valtellina ed in "Casale" (antico toponimo del paese), nelle mani di un certo Pietro, figlio di un suo vassallo.

Una seconda testimonianza risale all'880 e da essa veniamo a conoscenza del fatto che un certo "Paulus Scavino de Caxate" venne incaricato di risolvere una controversia sorta tra il

monastero di Sant'Ambrogio di Milano e quello germanico di Augia. Per ciò che concerne il XIII secolo, non ci è giunta alcuna notizia riguardante Casatenovo ed è da presumere quindi che anch'esso sia rimasto coinvolto nella serie di calamità che devastarono le campagne brianzee a causa delle lotte tra il popolo e la nobiltà. Il paese fu poi compreso nel Contado della Martesana.

Da un documento del 10 giugno 1385 sappiamo che Gian Galeazzo Visconti concesse l'immunità ad alcuni comuni facenti parte del Contado: dunque anche Casatenovo, i cui signori appartenevano sicuramente al partito ghibellino, dovette usufruire di questo beneficio.

Ignazio Cantù ci illumina poi circa i fatti relativi Villa Quattro Valli risalenti al XIV secolo: "Anche Casate ebbe a provare le luttuose vicende dei tempi, perocché nel 1447, rinnovatasi la guerra tra il duca Filippo Maria Visconti e la Repubblica Veneta, quest'ultima spedì contro lo stesso duca un grosso esercito sotto il comando del generale Michele Attendolo ma, stimando troppo ardua l'impresa di impadronirsi di quella città, i veneti si diressero verso il Monte di Brianza. Francesco Sforza, avendo avuto notizia di questa mossa, mandò tosto nella Brianza il fratello Giovanni con alcune compagnie di fanti". Si sa che, in seguito a questi avvenimenti, molti abitanti del luogo si unirono alle fila degli eserciti milanesi e fu proprio a Casatenovo che un manipolo di veneziani, al comando di Francesco Piccinino, venne assalito e costretto alla ritirata. Lo Sforza in questa occasione fece mettere a ferro e fuoco il paese che,



FIG. 2.1.5  
Piazza comunale



FIG. 2.1.6  
Dintorni della Chiesa

saccheggiato e distrutto, impiegò molto tempo per rimettersi in sesto. Casatenovo ebbe dei signori propri, i Casati, sui quali vale la pena di soffermarsi un attimo, data la grande influenza che ebbero sulle vicende locali e considerato altresì il lungo periodo durante il quale il feudo restò in loro possesso.

### 2.1.2.3 Il “regno” dei Casati

Le prime notizie riguardanti questa famiglia risalgono al 1270, anno nel quale, il 6 dicembre, il “Beato conte da Casate, figlio del nobile Giordano, cittadino milanese, lasciò i suoi beni ai conti Marzio e Filippo, figli di Ottone Casati”. Tra questi beni c’era anche un castello che fortificava il paese, costituendone probabilmente il nucleo centrale, i cui resti, consistenti in spessi muraglioni, si trovano ora incorporati nella casa appartenente ai conti Lurani.

Del castello di Casate si parlava già in una pergamena del 1045, che riguarda il testamento di Ariberto d’Intimiano, vescovo di Milano, in cui si stabiliva che i beni provenienti da questa rocca, dalla sua corte e dalla chiesa canonica cui essa faceva capo, fossero goduti in perpetuo dall’arcivescovo di Milano, al quale era riservato anche il diritto di eleggere i nuovi preti. Dopo che, nel 1626, gli spagnoli riscattarono la libertà d’infuedazione, fu il più famoso membro della famiglia Casati, il marchese Giulio, che nel giugno del 1692 riacquistò ufficialmente il feudo, al prezzo di lire 48 per ognuno dei 66 focolari che vi erano compresi.

Questo nobile era molto noto nella zona come un uomo

facinoroso ed incline alle avventure amorose. Tale fama era aumentata allorché, nel 1678, egli aveva fatto ammazzare dai suoi scagnozzi un paesano di nome Antonio Beretta, la cui unica colpa era quella di essere illegittimo marito di una delle sue amanti. Dopo il delitto, il Casati era fuggito in Valtellina, dove aveva atteso per ben dodici anni che la condanna a morte in contumacia pendente sulla sua testa fosse revocata. Il 30 gennaio del 1690, infatti, don Giulio ottenne la grazia e la riabilitazione, potendo così partecipare all’asta per l’aggiudicazione del feudo che era già appartenuto alla sua famiglia.

Il testo dell’avviso dell’asta avvertiva che le oblazioni di vendita si sarebbero tenute “la mattina nel luogo solito della ferrata posta sopra la piazza dei Mercanti di questa città (Milano - n.d.r.). Si principierà l’incanto di detto feudo, nel quale si procederà per tre giorni giuridici, l’ultimo dei quali, che sarà il 20 del corrente mese, si verrà alla deliberazione di detto feudo a chi avrà fatto miglior oblazione, se così parerà a detto illustre magistrato”. Il marchese Casati prestò quindi giuramento a Filippo V di Borbone, promettendo sul suo onore che tanto lui quanto i suoi legittimi successori sarebbero stati sempre obbedienti vassalli di Sua Maestà.

Capostipite della famiglia Casati era stato un certo Apollonio, vicario generale di Lotario II, i cui discendenti fondarono alcuni importanti monasteri della zona, come quello delle monache di S. Benedetto e quello delle monache di S. Paolo in Monza. Nella famiglia ci fu anche un prode capitano di ventura, Rancio



da Casate, che si batté strenuamente contro il Barbarossa in difesa di Tortona; in tempi molto più vicini a noi, fu proprio uno dei conti Casati che, nel marzo del 1848, in qualità di amministratore di Milano, dichiarò guerra al maresciallo Radetzky, comandante delle truppe austriache.

### 2.1.2.4 Lo sviluppo industriale

Tornando alle vicende storiche di Casatenovo, ricordiamo che nel 1580 il comune si ingrandì, inglobando i paesi di Casale Nuovo, Casale Vecchio, Galgiana, Rogorea e Campofioreno, mentre solo molto più tardi, nel 1875, sarebbe entrata a far parte dell’unità territoriale anche Cascina dei Bracchi.

Nel 1645 la popolazione del paese inviò una lettera alle



FIG. 2.1.7  
Lo stabilimento Vismara negli anni

autorità centrali, lamentando gravi danni patiti a causa del malgoverno. Veniva richiesta la nomina di un sindaco stipendiato, che rendesse conto mese per mese delle sue azioni e che non andasse “fuori della pieve senza licenza delli homini della comunità o maggioranza di essi”. Era richiesta inoltre la nomina di un consigliere, che svolgesse la mansione di segretario comunale e che avesse” a fare l’elenco delle tasse e consegnarne copia al console, una al sindaco, e una la affigga in piazza acciò ogni uno possa vedere il fatto suo”.

La condizione del borgo in quel periodo era più che mai misera ed inoltre l’epidemia di peste, che sconvolse tutta la regione, aveva imperversato qui per ben quattro anni (dal 1629 al 1633), aprendo vuoti notevoli tra la popolazione.

FIG. 2.1.8  
Prime planimetrie dello stabilimento Vismara, mappa catastrale datata 1930 ca.



Dopo ci fu la dominazione degli austriaci in Lombardia, fino alla volta dei francesi di Napoleone e quindi, in seguito alla Restaurazione, nuovamente degli austriaci. Durante le Cinque Giornate di Milano, Casatenovo inviò prontamente alla città aiuti, consistenti in armi ed in uomini in grado di combattere, e le campane del paese suonarono lungamente a festa, allorché si sparse la notizia che il nemico era stato costretto alla resa. A partire poi dalla fine del Settecento e dagli inizi dell'Ottocento, si ebbe un considerevole sviluppo del nucleo comunale, specie con la erezione od il rifacimento di notevoli ville patrizie: quali la Casati-Facchi (già Greppi-Bressi), la Casati-Greppi di Bussero, la Casati-Marocco-Viganò, la Castelbarco-Vismara, la Garavaglia-Lattuada-Ghisotti, la Lattuada-Ghisotti, la Lattuada-Vismara, la Lurani-Cernuschi, nonché la cascina Bracchi-Casati. Quando nel 1860 Garibaldi lanciò una sottoscrizione per l'acquisto di un milione di fucili, anche a Casatenovo si costituì un comitato per la raccolta dei fondi necessari e, contributo ancora più significativo, non pochi volontari del luogo decisero di seguire il generale.

Basti citare a questo proposito Giuseppe Sirtori, nato a Casatenovo nel 1813, che fu capo di Stato Maggiore nella spedizione dei Mille e che, durante la terza guerra d'indipendenza, sarebbe stato al comando di una divisione dell'esercito regolare nella battaglia di Custoza. Divenuto in seguito deputato, il Sirtori, indubbiamente una delle figure più significative del nostro Risorgimento, sedette alla Camera per varie legislature finché non morì nel 1874.

Dal secolo XIX Casatenovo entra nella grande vicenda dello sviluppo industriale e commerciale, tipico dell'area brianza. La Casatenovo di oggi infatti è tutta un fiorire di attività economiche, commerciali e produttive che la collocano tra i centri più operosi della Brianza. Paese di tradizione esclusivamente agricola, con un'economia basata essenzialmente sullo scambio dei prodotti della terra e dell'allevamento, già nell'immediato dopoguerra vide sorgere i primi insediamenti industriali: aziende, sulle prime, modeste, ma che in prosieguo di tempo avrebbero assunto dimensioni considerevoli, fino ad imporsi a livello nazionale ed internazionale. Dal punto di vista dello sviluppo economico il paese è stato fortemente segnato dalla presenza del Salumificio Vismara fondata alla fine dell'ottocento dall'omonimo Francesco Vismara che, partendo da una piccola attività commerciale, creò un'impresa di discrete dimensioni. Passando la guida al figlio Vincenzo, dopo la seconda guerra mondiale, il marchio divenne una vera e propria realtà industriale. Nel 1987 un nuovo scambio generazionale vede la vendita del salumificio all'ingegner Carlo De Benedetti, allora proprietario di Buitoni. Nonostante l'azienda si trovasse in un periodo di crescita attiva rispetto agli anni precedenti, passando in mano a Nestlé, comincia un periodo di decadenza. Forse per le mancate competenze dei dirigenti nella lavorazione delle carni o forse per le modifiche apportate al sistema delle vendite, il prodotto offerto su larga distribuzione non soddisfa più gli standard tipici di qualità rappresentati dal marchio. Nel 2000 una nuova compravendita e la società finisce in mano alla Ferrarini che

decide di tornare alla produzione locale costruendo un nuovo stabilimento nella frazione di Campofioreno. Avendo come obiettivo anche la creazione di altri rami d'azienda e di nuove attività ad alto valore aggiunto, la prospettiva di riallocazione sul territorio della fabbrica rappresenta un elemento molto influenza sui possibili sviluppi futuri economici di Casatenovo.

### 2.1.3 Analisi urbanistica

La storia di Casatenovo è un susseguirsi di personaggi e personalità molto diversi tra di loro che, attraverso il proprio operato hanno determinato negli anni i caratteri urbanistici della cittadina.

Si possono apprezzare, distribuiti a macchia sul territorio comunale, numerose ville, cascine, parchi e giardini storici che un tempo appartenevano a ricche e importanti famiglie che, operando nel settore agricolo e industriale, hanno costruito il paese.

La realtà industriale sicuramente più importante che si è insediata in questi luoghi è "Vismara S.p.a.". Dal 1939 al 1970 l'evoluzione nonché la crescita economica dell'azienda hanno determinato la trasformazione radicale di Casatenovo e della sua società che in questa vera e propria istituzione hanno trovato una forte identità.

I dati di crescita economica e della popolazione attiva negli anni 60' e 70' hanno indici impressionanti che hanno portato ad un indice attuale di 1.021 abitanti per km<sup>2</sup>. La grande fabbrica

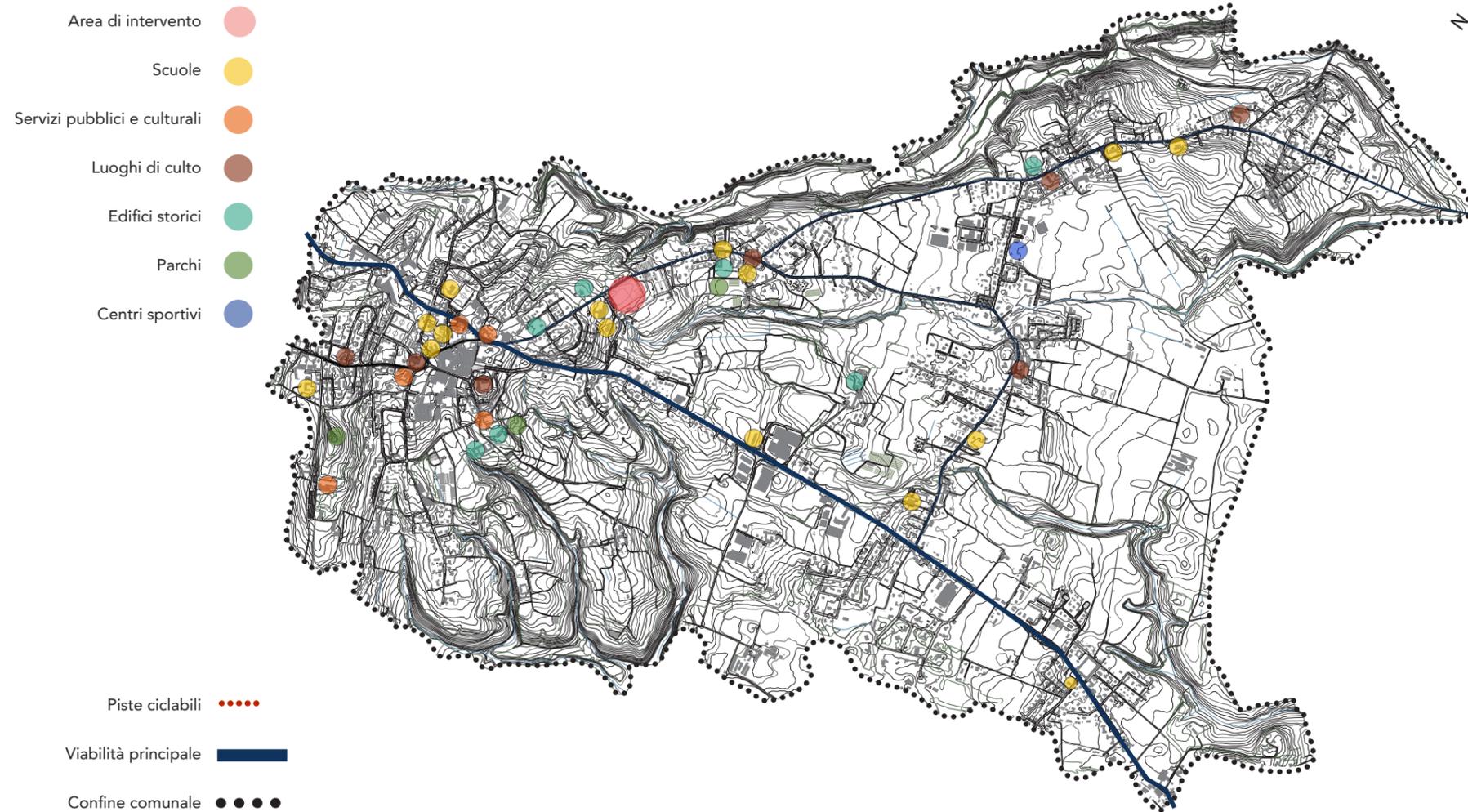


FIG. 2.1.9 Sistema della mobilità e inquadramento di Casatenovo

conteneva di tutto; oltre ai noti macellai anche muratori, meccanici, idraulici ed elettricisti. Il suo sviluppo tumultuoso ha in breve tempo riempito di volumi e di attività l'area tra la Parrocchia Prepositurale di San Giorgio e la Chiesa di Santa Giustina. Salumificio, chimica, mangimificio ed anche parte di allevamento si sono insediati su questi 7 ettari crescendo in coperture ed altezza e caratterizzando in modo decisivo il nuovo paesaggio. Il Paese ha colto questa grande opportunità sopportando grandi sacrifici dal punto di vista ambientale oltre che paesaggistico e della congestione dei flussi di traffico. Sacrificando se stesso alla grande fabbrica, costruendosi ed identificandosi attorno ad un centro di produzione industriale, ha rinunciato ad avere un vero centro civico. Ad ogni modo, questo importante baluardo, ha contribuito un innalzamento del tasso della qualità della vita con un aumento del reddito pro capite tra i cittadini.

Attorno all'area dell'edificato principale sorto attorno alla fabbrica e identificato come centro, il territorio non ha cambiato aspetto e conformazione in maniera molto evidente. Si tratta per lo più di frazioni isolate attorno alle quali si sviluppano i maggiori addensamenti urbani determinando una conformazione urbanistica complessiva policentrica. L'estensione dei volumi edificati, come per il resto della Brianza, sta fortunatamente subendo negli ultimi anni un drastico calo. La causa primaria di questo fattore, si riscontra principalmente non in riflessioni etiche di rispetto dei suoli e del paesaggio ma piuttosto nella crisi economica che nell'ultimo decennio sta

indebolendo sempre più questa magnifica nazione.

### 2.1.3.1 Il sistema della mobilità

Il comune di Casatenovo si trova nel cuore della Brianza ed è localizzato in posizione pressoché equidistante a cavallo tra le provincie di Lecco e di Monza e Brianza. Dal punto di vista della rete stradale è attraversato da nord a sud dalla Strada Provinciale SP51, in prosecuzione della S.P. n. 7 e da un asse est ovest altrettanto importante che è rappresentato a nord, tangente al confine comunale, dalla Strada Provinciale SP54, e ad est dalla Strada Provinciale SP55, arteria fondamentale per il collegamento al sistema delle Tangenziali di Milano. Il documento di piano, sulla base di uno studio viabilistico condotto e redatto dal Politecnico di Milano, individua una serie di azioni strategiche relative al sistema infrastrutturale tra cui la realizzazione di una nuova viabilità nella Frazione di Valaperta e un collegamento tra la via La Santa e via Leone XIII atto a scaricare il traffico e meglio distribuire la circolazione veicolare. Per quanto riguarda il settore dei trasporti pubblici su rotaia il territorio di pertinenza comunale non è servito da alcuna linea ferroviaria. Per il trasporto ferroviario le stazioni di riferimento rimangono i limitrofi Comuni di Carnate ed Arcore, serviti entrambi dalle suddette linee. Il servizio su gomma è ben articolato. Le due linee extraurbane presenti sul territorio ed offrenti servizio sono la linea Monticello-Casatenovo-Carnate e la Linea Oggiono-Casatenovo-Arcore dell'azienda LT Lecco Trasporti. Vi è inoltre attivo un importante servizio trasporto

alunni per la Scuola dell'infanzia, la Scuola primaria e le Scuole secondarie che negli orari d'inizio e fine scuola assecondando le necessità di indipendenza degli alunni fin da tenera età. Per quanto riguarda la situazione delle piste ciclopedonali la criticità del servizio è, come per la maggior parte dei comuni italiani, evidente. Non esiste qui un vero e proprio sistema di vie tale da poter consentire agevolmente ed in sicurezza gli spostamenti con biciclette. La frammentazione di queste corsie inoltre non permette effettivamente di collegare tra loro i poli di interesse comunale in termini di servizi sociali, culturali, scolastici e storici. A lato della SP51, forse l'arteria stradale più trafficata del Casatese, si possono trovare brevi tratti di questi percorsi che, secondo le disposizioni Piano di Governo Territoriali, sono destinati ad una successiva unione con un relativo completamento. Gli interventi sicuramente più significativi sono le connessioni tra alcune frazioni situate nella zona Sud ovvero il tratto di Via S. Gaetano tra Rimoldo e Rogoredo e, su Via Ugo Foscolo e a lato della SP55, tra Cascina de Bracchi e Galgiana.

### 2.1.3.2 Alcuni edifici storici

#### ORATORIO DI SANTA GIUSTINA

Il monumento artistico di maggior pregio ubicato in Casatenovo è senza dubbio l'oratorio di Santa Giustina. Le prime notizie riguardanti questa chiesa risalgono all'anno 1062 quando fu con ogni probabilità edificata da qualche membro della famiglia



FIG. 2.1.11  
Chiesa di Santa Giustina

Casati. A testimonianza di questo sono stati dei ritrovamenti di alcune tombe, per la precisione tre sepolcri in terracotta, appartenenti sicuramente ad uomini della nobile casata nei pressi delle mura perimetrali ed inoltre il simbolo della famiglia è scolpito sul piccolo campanile romanico che si può tuttora ammirare.

Nel 1643 questa chiesa fu quasi completamente rimaneggiata ma i lavori non dovettero essere eseguiti a regola d'arte. Nel XIX secolo vennero effettuati nuovi lavori con il rifacimento della facciata frontale. Attualmente sono ancora visibili all'interno dell'oratorio alcuni affreschi in buone condizioni risalenti al XV ed al XVI secolo; e nel giardino attiguo ad esso è sistemata un'ara votiva romana. Non ben conservati sono purtroppo gli affreschi nella cappella sinistra.

FIG. 2.1.12  
Affreschi cinquecenteschi all'interno della chiesa di Santa Giustina



#### VILLA LATTUADA

Villa Lattuada sorge su quello che un tempo era lo storico Convento di San Giacomo, costruito all'inizio del 1500, sul terreno di una preesistente chiesina campestre del XIII secolo, dedicata all'apostolo San Giacomo. È proprio sull'antico poggiolo che Giuseppe Lattuada, negli anni 1883-1885, fa costruire questa strabiliante villa. In un'affascinante sintesi eclettica e romantica l'elegante sagoma delle facciate, con le guarnizioni di marmo bianco e le due torri panoramiche merlate, le cuspidi, i fastigi puntuti, i tetti fortemente inclinati, ricorda una cattedrale gotica. Questa maestosa villa è espressione di un'architettura grandiosa e nuova per la Brianza, del tutto autonoma rispetto alla tradizione della villa signorile, ma perfettamente integrata

FIG. 2.1.13  
Villa Lattuada



nel suo romantico spazio paesaggistico. La Villa oggi appare come l'immagine inattesa e nitida di un castello maestoso e isolato a guardia di un quieto paesaggio che si estende senza barriere fino al Resegone.

#### VILLA D'ADDA MARIANI

Villa D'Adda-Mariani è una antica residenza nobiliare risalente al Cinquecento, costruita per volontà del ricco banchiere Rinaldo D'Adda di Olginate dei marchesi di Pandino. Appartenuta alla famiglia D'Adda-Mariani fino al 1963, l'edificio di gusto architettonico piuttosto semplice, con una ripartizione a due ordini, finestroni rettangolari e un ampio portale d'accesso a tutto sesto, è oggi proprietà del comune di Casatenovo,

che decise di istituirvi le sedi della Civica Scuola di Musica e dell'Auditorium "Graziella Fumagalli". Con il suo giardino all'italiana e una balconata che offre una splendida visuale sull'area agricola e boschiva della frazione di Galgiana, il parco è oggi utilizzato per ospitare convegni, iniziative a carattere culturale, dibattiti e per la celebrazione di matrimoni civili.

#### VILLA CASATI-FACCHI

Villa Casati-Facchi prende il nome dai suoi primi proprietari che qui abitarono per tutto il XVIII secolo, e da quello della famiglia Facchi, che entrò in possesso della villa nel 1881, inaugurando importanti lavori di restauro. Dell'impianto originario, collocato ai margini del nucleo storico di Casatenovo, si sono conservate sia la pianta a "U" sia la facciata rivolta al paese, inalterata nella distribuzione regolare delle finestre e negli angoli a bugnato. Nel corso del tempo la villa si è ampliata grazie alla costruzione del corpo della portineria con scuderie annesse e del portico

FIG. 2.1.14  
Villa d'Adda  
Mariani



laterale a sud. Il parco della storica villa ospita oggi i giardini della biblioteca comunale viene utilizzato per lo studio e il relax ed ospita anche eventi di carattere culturale e ricreativo.

#### VILLA CASATI-GREPPI

Poco distante da Villa Facchi si trova Villa Casati-Greppi costruita nel 1775 da Francesco Casati come residenza invernale. Ereditati poi dall'Ospedale Maggiore di Milano vine venduta al conte Giuseppe Greppi in Bussero.

La struttura è molto imponente si presenta in perfetto stile neoclassico. Alla villa si accede tramite un monumentale ingresso dorico a tre archi, preceduto da uno splendido viale alberato. All'interno della villa vi è una chiesetta a pianta rettangolare che conserva affreschi dell'Alberta che decorano la volta, il busto di Giuseppe Greppi, una pala d'altare raffigurante la Vergine e i Santi Patroni, opera di Giuseppe Dotti e il monumento dedicato a Francesco Casati.



FIG. 2.1.15  
Villa Casati-Greppi

#### VILLA LURANI-CERNUSCHI

Molto probabilmente questo edificio è stato costruito sul medesimo luogo dove sorgeva l'antico castello duecentesco, rimaneggiato dalla famiglia Casati. Nel 1587, gli allora proprietari del castello, gli Sforza, lo cedettero alla famiglia Lurani. Dell'antica struttura non rimane alcuna traccia, dal momento che nel corso dei secoli la villa è stata sottoposta a numerosi rifacimenti tra cui il più importante dei quali realizzato sul finire del XVIII secolo.

Attualmente le linee architettoniche della villa richiamano i canoni neoclassici, mentre la torre che spicca dal blocco principale, aggiunta alla fine dell'Ottocento, rivela un gusto neogotico. Un giardino paesaggistico circonda la villa su tre lati.

FIG. 2.1.16  
Villa Lurani  
Cernuschi



#### CASCINA RANCATE

L'edificio in stile romanico è risalente al 1380 ed è stato costruito, con buone probabilità, dai primi proprietari di cui la storia ha menzione ovvero la famiglia dei De Casate.

Nel 1634 fu acquistato dalla famiglia Simonetta che resero pubblico l'oratorio dedicato a Sant'Antonio da Padova presente all'interno del cascinale posizionato di fianco alla torre. A causa di ciò la pala che raffigurava la Vergine con il Patrono all'interno della chiesa è stata trafugata nei primi anni ottanta.

Il complesso della cascina, racchiuso in una corte rettangolare, presenta un nucleo padronale di fattura cinquecentesca, con tracce di merlatura e una torre edificata sul lato meridionale. Oggi la struttura ospita un noto agriturismo.

FIG. 2.1.17  
Cascina  
Rancate



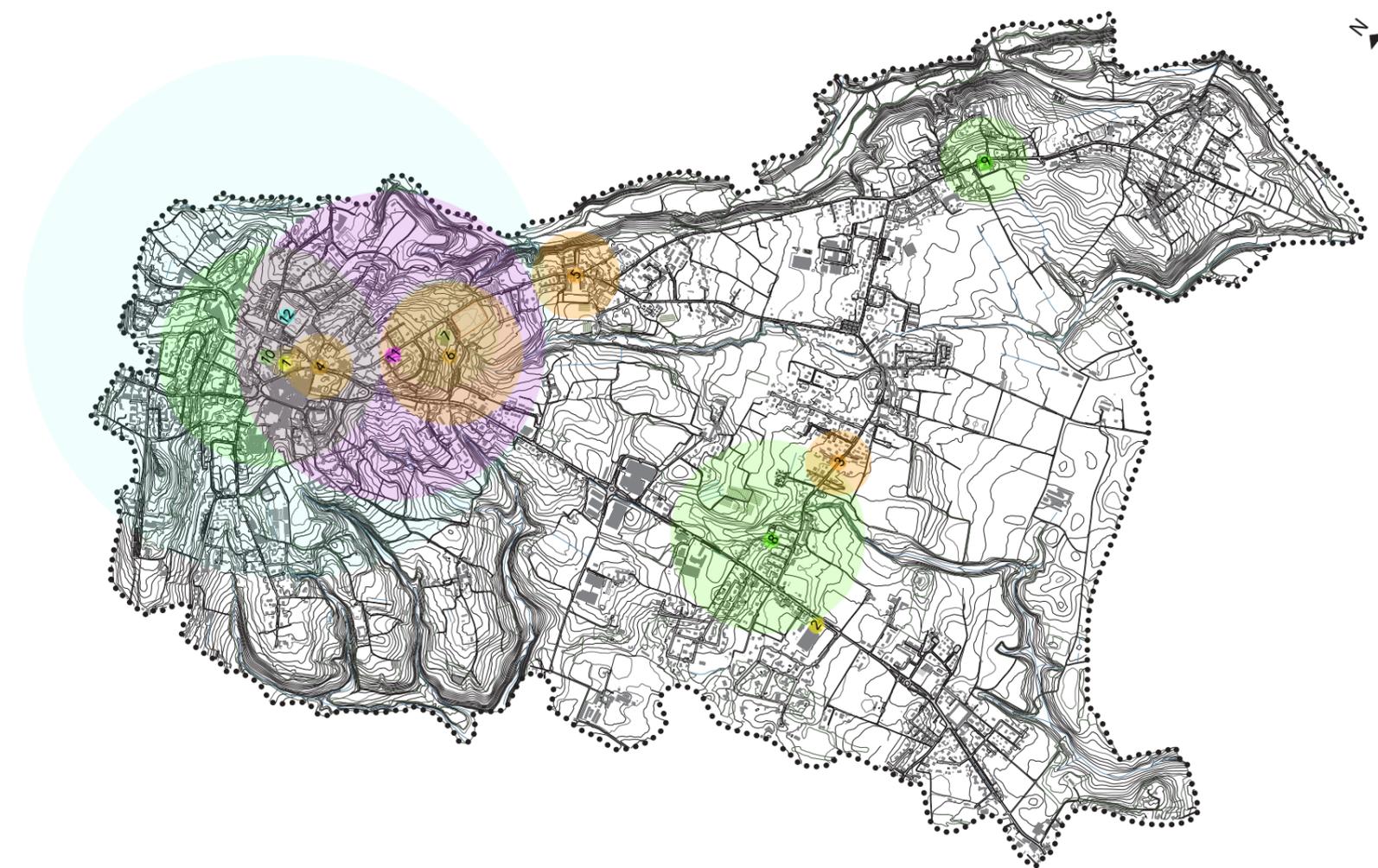


FIG. 2.1.9  
Edifici  
scolastici, centri  
culturali e  
centri sportivi,  
sul territorio  
comunale

### 2.1.3.3 Edifici scolastici

Il sistema dei servizi per l'Istruzione presenti sul territorio di Casatenovo comprende i seguenti ordini di scuole: asili nido, scuola dell'infanzia, scuola primaria, scuola secondaria di primo grado, scuola secondaria di secondo grado. Nonostante il patrimonio edilizio scolastico è di prevalente proprietà comunale vi è la presenza di un istituto professionale di proprietà della Provincia di Lecco e di alcuni istituti privati appartenenti ad enti religiosi. Per una migliore progettazione si è cercato di analizzare la situazione in primis delle scuole, cercando di valutare il numero di alunni presenti in ogni plesso scolastico e gli spazi a loro disposizione (numero di aule, spazi esterni, laboratori, etc.). Nel complesso i quattro poli scolastici di via Belvedere, C.na Bracchi, via Giovenzana e via Crotta consentono di soddisfare la domanda in termini quantitativi dell'attuale utenza, ma laddove la domanda dovesse aumentare negli anni, specie le scuole primarie, non garantiscono ulteriori possibilità di espansione del servizio per i limiti strutturali degli edifici. Tali plessi risentono inoltre di carenze strutturali in particolare per quanto concerne l'adeguatezza degli spazi, sia interni che esterni, in merito alle esigenze didattiche con particolare riferimento a laboratori, aule di informatica, palestre, aree esterne e spazi mensa. Questa problematicità è maggiormente sentita presso la Scuola di via Belvedere, dove l'aumento dell'utenza e la recente riattivazione di due sezioni per i 5 anni di insegnamento hanno determinato un sacrificio di spazi precedentemente utilizzati per tali funzioni. Appaiono critici i

livelli qualitativi complessivi in termini di strutture edilizie e di aree connesse nonché la localizzazione sul territorio in più polarità. Vengono elencati di seguito tutti gli istituti scolastici partendo dagli asili valutando, quando possibili, il numero di alunni presenti e gli spazi a loro disposizione in termini di aule, spazi esterni, laboratori, etc.

#### 1. ASILO NIDO COMUNALE C.NA LEVADA

- Capienza: 30 bambini
- Età: 6-36 mesi
- Orario: 8.00-15.30

L'asilo è immerso nel verde ed è collocato nella splendida e storica struttura della Cascina Levada. Il servizio è rivolto ai bambini dai 6 ai 36 mesi e può accogliere fino a 30 bambini, di cui 10 lattanti e 20 divezzi. I criteri per la graduatoria di accesso alla frequenza sono definiti dal Comune di Casatenovo. Il nido dispone di ampi spazi sia interni che esterni: le zone di gioco esterno sono tre, adeguatamente orientate per l'utilizzo nelle diverse stagioni. Gli spazi interni sono differenziati in base alle età e connotati per le diverse attività specifiche: manipolazione, pittura, collage, lettura, psicomotricità, musica, giochi sensoriali. La struttura dispone di cucina interna attrezzata per confezionare i pasti.



FIG. 2.1.10  
Asilo comunale di Cascina Levada

## 2. ASILO NIDO PIRI PIRI

- Capienza: 15 bambini
- Età: 3-36 mesi
- Orario: 8.00-17.30

FIG. 2.1.11  
Asilo nido  
aziendale Pupa  
- Piri Piri



La nuova struttura nasce come Asilo Nido Convenzionato all'azienda "PUPA", presente sul territorio, ed è frutto di un accordo tra i vertici aziendali e la cooperativa sociale 'Età insieme'. Si prevede l'iscrizione di soli 15 bambini dai 3 ai 36 mesi, con accesso preferenziale ai figli dei dipendenti. Tra i principali obiettivi del nuovo asilo vi è il mantenimento del benessere del bambino e della famiglia attraverso la creazione di un ambiente educativo professionale e, nel contempo, accogliente. Durante l'anno ai bambini sarà garantita la presenza costante di una figura educativa di riferimento, capace di avviare attività educative mirate atte a garantire per ogni bambino la possibilità di crescere ed esprimersi in modo unico e personale. Tra i diversi servizi offerti dal nido 'Piri piri' figurano laboratori tematici per bambini e genitori, spazi sicuri, puliti e accoglienti.



FIG. 2.1.12  
Scuola dell'infanzia S.S.  
Angeli di Rogoredo

## 3. SCUOLA DELL'INFANZIA S.S. ANGELI DI ROGOREDO

- Capienza: 60 bambini
- Età: 3-6 anni
- Orario: 8.00-15.30

La scuola dell'infanzia S.S. Angeli di Rogoredo a Casatenovo, è stata istituita nel 1949, per volontà della popolazione della frazione di Rogoredo sotto la direzione dell'allora parroco don Carlo Perego. Gli spazi interni della scuola si suddividono in un ingresso, dove si trovano gli armadietti per ogni alunno, tre aule accoglienti con spazi pensati per i bambini di varie età, un' aula di psicomotricità e inglese e una sala da pranzo. All'esterno un ampio cortile.



FIG. 2.1.13  
Scuola  
dell'infanzia  
S. Giuseppe  
Campofio-  
renzo

## 4. SCUOLA DELL'INFANZIA PARITARIA S. GIUSEPPE CAMPOFIORENZO

- Capienza: 60 bambini
- Età: 3-6 anni
- Orario: 8.00-15.30

Asilo di impostazione cristiana. Sono previsti, come per quella privata di Rogoredo, i servizi aggiuntivi "pre-scuola", "pranzo" e "post-scuola".

## 5. SCUOLA DELL'INFANZIA PARITARIA DI GALGIANA A.R. MARZORATI

- Capienza: 80 bambini
- Età: 3-6 anni
- Orario: 8.00-16.00

La scuola dell'infanzia nasce grazie al generoso gesto di Angelo e Rosa Marzorati che nel 1897 donarono lo stabile alla Parrocchia di San Biagio in Galgiana, con la volontà di realizzare in esso un Asilo Infantile. La Scuola Materna nel 1974 passa in mano a un'associazione di genitori, gestita da un consiglio amministrativo, per poi diventare oggi una Scuola dell'Infanzia Paritaria di Ispirazione Cristiana.

## 6. SCUOLA DELL'INFANZIA DI VALAPERTA

- Capienza: 130 bambini
- Età: 3-6 anni
- Orario: 8.00-16.00

Il modulo orario è organizzato su 40 ore settimanali da lunedì a venerdì. L'edificio contenente l'asilo ospita una popolazione scolastica di 130 alunni divisi ed organizzati in 5 classi. Vi sono

poi un salone polivalente che funge spazio gioco-ricreativo e per attività motoria oltre che come locale mensa, un'aula docenti e un'aula per i collaboratori. Le attività esterne vengono svolte in uno spazio con prato e un orto didattico.

## 7. SCUOLA PRIMARIA C.NA CROTTA

- Capienza: 106 alunni
- Età: 6-11 anni
- Orario: 8.00-16.30

Il modulo orario è organizzato su 40 ore settimanali da lunedì a venerdì. Attualmente 106 alunni vengono ospitati in 5 aule per le lezioni. Vi sono poi due aule per le attività di recupero/ sviluppo da svolgersi in piccoli gruppi, un'aula lettura, un'aula informatica con 8 postazioni pc, uno spazio palestra ed un locale mensa. All'esterno due spazi asfaltati consentono lo svolgersi di attività ludico/sportive e ricreative.



FIG. 2.1.14  
Scuola  
primaria C.na  
Crotta

### 8. SCUOLA PRIMARIA C.NA GRASSI

- Capienza: 176 alunni
- Età: 6-11 anni
- Orario: 8.00-13.00

Il modulo orario è organizzato su 28/30 ore settimanali da lunedì a venerdì. Le 2 ore aggiuntive e facoltative comprendono il servizio mensa e l'intervallo mensa che vengono gestiti dall'Ente locale e si svolgono nella giornata di Mercoledì. Nonostante la popolazione scolastica di 176 alunni sia divisa in 10 classi, organizzate in 5 sezioni, le aule per lo svolgimento delle lezioni sono solamente 7. Si possono trovare poi un'aula per attività di gruppi ristretti per attività di recupero e sviluppo, un'aula per svolgimento attività di lettura, un'aula, un atrio per momenti comuni a tutte le classi/per intervallo in caso di maltempo, un'aula informatica con 4 postazioni che funge anche da biblioteca, un corridoio al primo piano utilizzato per l'intervallo in caso di maltempo, uno spazio seminterrato adibito a palestra, un locale mensa, due spazi asfaltati esterni ed uno spazio verde.

FIG. 2.1.15  
Scuola  
primaria C.na  
Grassi



### 8. SCUOLA PRIMARIA C.NA BRACCHI

- Capienza: 83 alunni
- Età: 6-11 anni
- Orario: 8.00-13.00

Il modulo orario è organizzato su 28/30 ore settimanali da lunedì a venerdì. Le 2 ore aggiuntive e facoltative comprendono il servizio mensa e l'intervallo mensa che vengono gestiti dall'Ente locale. In numero di classi, sezioni ed aule coincide ed è di 5 per ospitare un totale di 83 utenti. Un locale mensa, un locale infermeria, una piccola aula informatica, una piccola palestra ed un atrio utilizzato durante l'intervallo si articolano all'interno mentre all'esterno due spazi asfaltati e due aree verdi alberate ospitano le attività all'aperto.

### 9. SCUOLA PRIMARIA CAPOLUOGO

- Capienza: 216 alunni
- Età: 6-11 anni
- Orario: 8.00-13.00



FIG. 2.1.16  
Scuola  
primaria C.na  
Bracchi

FIG. 2.1.17  
Scuola secondaria  
M.G.  
Agnesi



Il modulo orario è organizzato su 28/30 ore settimanali da lunedì a venerdì. Le 2 ore aggiuntive e facoltative comprendono il servizio mensa e l'intervallo mensa che vengono gestiti dall'Ente locale. E' la più popolosa delle scuole primarie di Casatenovo con un totale di 216 alunni suddivisi in 10 classi. All'interno si possono trovare dieci aule per lo svolgimento delle lezioni, un locale mensa, un'aula informatica, un'aula ex-video, un'aula per materiale didattico, una biblioteca, una palestra, due aule insegnanti, due aule per l'incontro genitori/insegnanti-psicologa e un'aula per laboratori da piccoli gruppi. All'esterno un ampio spazio asfaltato coperto ed un parcheggio destinato agli automezzi del personale.

### 10. SCUOLA SECONDARIA DI I GRADO S.M.S.M.G. AGNESI CASATENOVO

- Capienza: 288 alunni
- Età: 11-14 anni
- Orario: 8.00-14.00

L'organizzazione della Scuola Secondaria si articola in base ai due modelli previsti dalla normativa attuale. Vi è la possibilità di scegliere al momento dell'iscrizione un modello di "Tempo Normale" che prevede la frequenza obbligatoria di 30 ore settimanali di lezione, suddivise dal lunedì al sabato, oppure un modello di "Tempo Prolungato" che prevede la frequenza obbligatoria di 36 ore settimanali di lezione suddivise invece da lunedì al venerdì, con tre rientri pomeridiani. Gli alunni sono nel complesso 288 e vengono divisi in 12 classi divise in 4 sezioni. Vi sono all'interno 14 aule per lo svolgimento delle lezioni frontali, un'aula per recupero/potenziamento di piccoli gruppi di studenti, un'aula per le scienze, un'aula d'arte, un'aula informatica con 25 posti, una palestra, due locali mensa, un'aula di musica e una biblioteca. All'esterno le attività ludico sportive sono svolte in un ampio piazzale che contiene un campo da basket, un campo da calcio ed uno spazio con prato.



FIG. 2.1.18  
Istituto  
professionale  
di stato G.  
Fumagalli

### 11. ISTITUTO PROFESSIONALE DI STATO GRAZIELLA FUMAGALLI

- Capienza: 900 alunni
- Età: 14-19 anni
- Orario: 8.00-16.00

L'Istituto Professionale di Stato per i Servizi commerciali, socio-sanitari, per l'enogastronomia e l'ospitalità alberghiera "Graziella Fumagalli" è stato avviato nel 1961 come sede coordinata dell' I.P.S.S.C.T. "G. Pessina" di Como diventa autonomo dal primo settembre 2005 e assume nel 2006 il nome di "Graziella Fumagalli". Nel 2010, dopo un significativo intervento di ampliamento sostenuto dalla Provincia di Lecco, si assiste ad un'implementazione dell'offerta formativa con l'introduzione dell'indirizzo alberghiero e degli indirizzi di Istruzione e Formazione Professionale Regionale per i Profili "Operatore Amministrativo Segretariale" e "Operatore ai Servizi di Promozione e Accoglienza". Devono ancora essere completati, dopo rifinanziamento da parte della Provincia, il piano terra (laboratori) e la sistemazione delle aree esterne (campi sportivi e verde) non escludendo il coinvolgimento di aree limitrofe standard di proprietà comunale, come da accordi già intercorsi con la Provincia. Attualmente la popolazione scolastica è di circa 900 alunni divisi nei rispettivi corsi di studi. Un dato molto interessante riguarda il numero di alunni con criticità d'apprendimento. Sono registrati attualmente 95 alunni stranieri rappresentanti il 10% dell'intera popolazione scolastica, 56 alunni DVA (diversamente abili) e 92 tra DSA e BES (con difficoltà di apprendimento).

### 2.1.3.4 Centri sportivi

Per quanto riguarda i servizi sportivi attualmente attivi sul territorio comunale si ha una prevalenza di strutture private gestite per la maggior parte dalla curia. Si tratta per lo più di oratori che per questioni probabilmente di bilancio offrono in affitto spazi adibiti alla pratica principalmente del calcio. Lo stadio comunale di calcio in Piazza Repubblica, sede della Società sportiva Casatese, dispone di un campo regolamentare con spalti coperti e scoperti, di strutture per gli spogliatoi ed un magazzino.

Il centro sportivo di via Volta, gestito dall'Associazione Casatesport, dispone di un edificio con spogliatoi, sale riunioni, servizi igienici, una palestra con spalti e di una seconda struttura "telonata" con palestra, campi esterni per calcetto e tennis, un edificio per spogliatoi a servizio dei campi esterni, un'area esterna con percorso per l'allenamento Mountain bike, una pista



FIG. 2.1.19  
Campo di calcio di Piazza Repubblica

FIG. 2.1.20  
Centro sportivo tra Rogoredo e C.na de Bracchi



nell'area fieristica per l'allenamento Ciclismo bambini/ragazzi. All'interno di questo centro sportivo vi è un'ampia offerta di corsi e di attività agonistiche per la pallavolo, la ginnastica artistica, il kung fu, il tennis, il calcetto ed il basket. Le strutture esterne per il ciclismo e i locali magazzini sono utilizzate dalla società US Cassina de Bracchi e vengono inoltre utilizzate in occasione di importanti manifestazioni sportive annuali di richiamo nazionale, in particolare la Marathon Bike, organizzata da Action bike. Delle attrezzature sportive sono poi presenti presso l'Oratorio S. Giorgio che ha due campi calcio di cui uno regolamentare e uno per allenamenti oltre che un campo esterno per pallavolo/basket, presso l'Oratorio Galgiana con un campo da calcio non regolamentare ed uno da calcetto, presso l'Oratorio Valaperta con un campo calcio non regolamentare, un da calcetto campo esterno ed uno esterno per la pallavolo e il basket, ed infine presso l'Oratorio di Rogoredo dove sono presenti un campo da calcio non regolamentare per gli allenamenti, un campo da calcio regolamentare ed un campo esterno da basket e pallavolo. In ultimo sempre appartenenti a servizi sportivi vi è anche una palestra scolastica presso la Scuola secondaria di primo grado via Crotta ed una per ogni Scuola primaria.

### 2.1.3.5 Centri culturali

Riguardo ai servizi culturali all'interno di Villa Facchi, si trova la biblioteca comunale facente parte del sistema inter-bibliotecario della Provincia di Lecco. La struttura è dotata di una sala dedicata alle letture per l'infanzia, ad una sala lettura con 85 posti per lo studio e due postazioni internet, ad un servizio di prestito DVD oltre che di libri, e ad una sala dedicata a giornali e riviste. Secondo dati del 2010 la raccolta qui contenuta è composta da 33539 Libri, 270 DVD e 45 abbonamenti a riviste mensili e settimanali di cui 2 in lingua originale, 5 quotidiani. Per quanto riguarda la fruizione ai servizi negli anni si è assistito ad un progressivo incremento dell'attività di prestito libri e di fruizione delle sale letture e studio. I giorni di apertura sono il martedì, il mercoledì, il venerdì e il sabato mattina dalle 09:30 alle 12:00 mentre il pomeriggio dalle 14:00 alle 14:00;



FIG. 2.1.21  
Ingresso della biblioteca comunale presso Villa Facchi

il giovedì rimane aperta solo al pomeriggio dalle 14:00 alle 18:00 ed il lunedì e la domenica chiusa. Gli accessi quotidiani si possono stimare all'incirca attorno ai 100 utenti/giorno. Le criticità inerenti l'edificio della Biblioteca attengono alla sua posizione periferica rispetto al centro del paese, alla scarsità dei parcheggi disponibili, alla necessità di interventi onerosi di manutenzione ordinaria dell'edificio stesso, ad una non soddisfacente fruibilità degli spazi esterni ed ad un dimensionamento insufficiente per la crescente utenza. L'Amministrazione comunale ha indicato l'obiettivo della realizzazione di un nuovo centro culturale / biblioteca. Altri edifici culturali importanti presenti sul territorio comunale sono l'Auditorium "Graziella Fumagalli" e la sede della Civica Scuola di Musica di Casatenovo all'interno di Villa D'Adda Mariani ed il cinema della Parrocchia di San Giorgio gestito da ormai 15 anni da un gruppo di volontari. Si citano inoltre il Centro Culturale "Aldo Moro" nonché Sala Civica in via Castelbarco, il Centro Anziani "Villa Farina" in via Garibaldi.

FIG. 2.1.22 Auditorium comunale presso Villa d'Adda Mariani



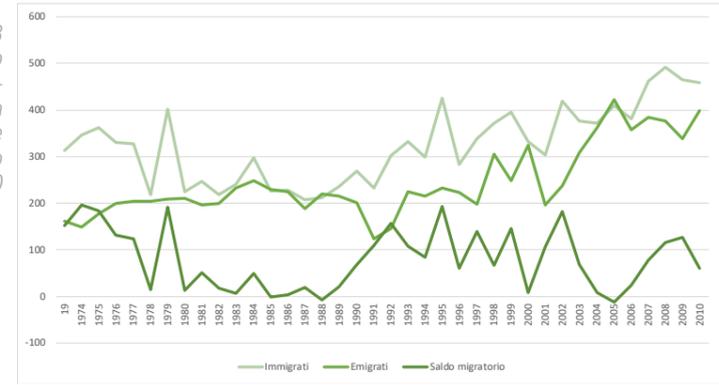
### 2.1.4 Analisi demografica

L'analisi demografica sulla popolazione residente a Casatenovo si rivela un dato molto importante per la comprensione delle necessità dei cittadini. Comprendere l'andamento delle nascite e delle morti, e abbinando a questo studio un esame sui flussi migratori nell'area saremo in grado di capire se stiamo andando incontro ad un invecchiamento o un ringiovanimento della cittadina e comprendere chi sono effettivamente i civis. Anche in questo caso, in cui le richieste sono quello di edificare un complesso scolastico, la conoscenza dell'interesse della comunità può portare a definire dei caratteri nonché valori aggiuntivi di pregio a quello che è la richiesta dell'ente banditore. Caratterizzare una comunità consente di raggiungere un livello di conoscenza tale da rendere possibile la stesura di un programma funzionale che permetta di intraprendere in modo corretto le fasi della progettazione compatibilmente con tutti gli aspetti studiati. Attraverso le informazioni pervenute dai Censimenti Istat sono stati estrapolati dei grafici che raccontano la storia della popolazione comunale dell'ultimo trentennio

#### 2.1.4.1 Sviluppo storico demografico

Comprendere l'andamento e il rapporto nascite/morti ci consente determinare un invecchiamento o un ringiovanimento della cittadina. Unendo poi questi dati a quelli rappresentati nei grafici dei flussi migratori la comprensione oltre che dell'età della popolazione si estende

FIG. 2.1.23 Andamento demografico della popolazione di Casatenovo 1973-2010



anche alla sua multiculturalità, elemento molto importante da non trascurare nella progettazione di una scuola. Casatenovo è costantemente in aumento dagli anni '70, raggiunge un totale di 12.691 residenti al 31 dicembre 2010 (8972 nel 1973). In sintesi l'aumento della popolazione nell'ultimo decennio risulta essere di circa 78 abitanti/anno, valore di molto inferiore rispetto a quello riscontrato nel decennio precedente che viene all'incirca dimezzato.

Un dato particolarmente evidente è il progressivo calo del saldo naturale. È utile a questo punto considerare il grafico dei flussi migratori registrati nel comune. Al deficit disale naturale, si accosta l'aumento del saldo migratorio che sostiene in modo prevalente l'aumento della popolazione. Si può dedurre allora che l'aumento costante della popolazione all'interno del comune dipende negli ultimi anni prevalentemente dai flussi migratori che interessano

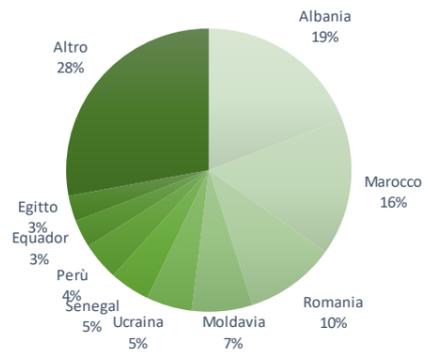


FIG. 2.1.24 Popolazione straniera nel Comune di Casatenovo

nel complesso la totalità della provincia di Lecco, una tra le più floride dal punto di vista economico della regione. Gli stranieri residenti nel comune sono 788, ovvero il 6,2% della popolazione, dato sicuramente non trascurabile. I contributi etnici maggiori sono rappresentate da albanesi (151), marocchini (123), rumeni (81), moldavi (54), senegalesi (36), peruviani (34), equadoregni (25) ed egiziani (23). [diagramma a torta] Risulta inoltre interessante riportare il trend demografico all'interno delle frazioni che compongono il comune di Casatenovo nell'ultimo decennio dove è possibile riscontrare, nel complesso, un andamento pressochè costante. Un notevole incremento di popolazione si è registrato nella frazione di Rogoredo che è il luogo degli ultimi ampliamenti residenziali, mentre un leggero decremento si registra in frazione di Galgiana, dove le espansioni edilizie degli ultimi anni hanno riguardato maggiormente il settore produttivo.

TAB. 2.1.1  
Numero degli abitanti per frazione di Casatenovo

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Rogoredo	1665	1684	1701	1710	1728	1760	1787	1804	1809	1824	1844
Campofioreno	1649	1663	1677	1671	1671	1679	1694	1693	1706	1696	1686
Valaperta	1058	1049	1051	1055	1058	1068	1065	1067	1079	1076	1067
Galgiana	1039	1040	1053	1049	1036	1036	1028	1026	1020	1024	1019
Cascina Bracchi	518	524	529	534	535	534	531	523	519	515	515
Rimolo	190	185	183	182	180	181	180	177	178	184	189

### 2.1.4.2 Età della popolazione

L'analisi della struttura per età di una popolazione considera tre fasce di età: giovani 0-14 anni, adulti 15-64 anni e anziani 65 anni ed oltre. Queste 3 classi rappresentano in sostanza rispettivamente la classe giovane non considerata ancora come forza lavoro, la classe costituente la forza lavoro in grado di portare contributi alla società e la classe anziana, considerando 65 anni come età pensionabile (situazione forse non troppo compatibile con la situazione odierna). In base alle diverse proporzioni fra tali fasce di età, la struttura di una popolazione viene definita di tipo progressiva, stazionaria o regressiva a seconda che la popolazione giovane sia maggiore, equivalente o minore di quella anziana.

TAB. 2.1.2  
Età della popolazione di Casatenovo

Anno	0-14 anni	15-64 anni	>65 anni	Totale residenti	Età media
2002	1718	8249	1959	11926	40,7
2003	1744	8341	2029	12114	41
2004	1750	8346	2105	12201	41,2
2005	1768	8258	2216	12242	41,6
2006	1774	8208	2271	12253	41,9
2007	1747	8175	2366	12288	42,3
2008	1757	8211	2401	12369	42,5
2009	1754	8285	2445	12484	42,9
2010	1790	8354	2479	12623	42,8
2011	1815	8379	2497	12691	43,3
2012	1821	8252	2591	12664	43,4
2013	1857	8248	2663	12768	43,5
2014	1835	8353	2730	12918	43,7

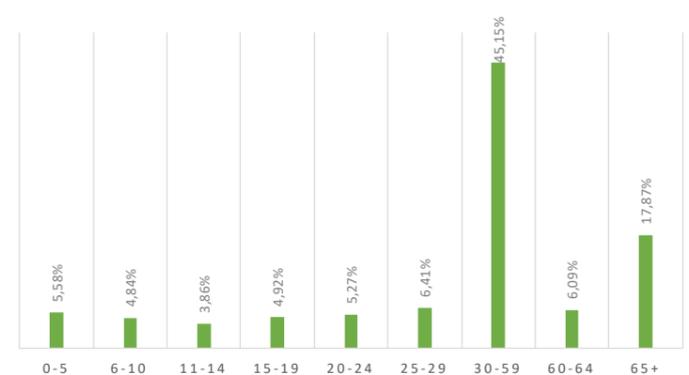


FIG. 2.1.25  
Percentuale dell'età della popolazione di Casatenovo

Confrontando i dati estrapolati dai censimenti, il primo dato che emerge alla vista è che la percentuale di individui di età compresa tra gli 0-14 anni, aumenta ma in percentuale molto meno rispetto alla fascia di persone di età compresa tra i 15-64 anni e oltre i 65 anni. Il fatto di avere meno individui tra 0-14 anni rispetto agli over 65, significa essere in una situazione demografica di tipo

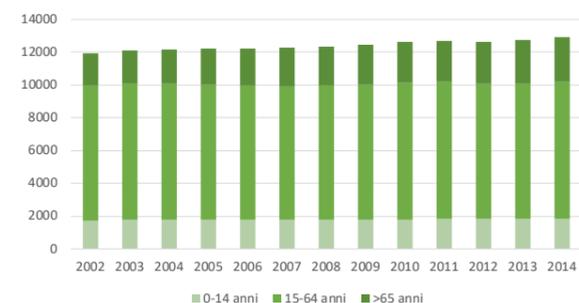


FIG. 2.1.26  
Grafico dell'età della popolazione di Casatenovo

regressivo. Questo carattere non solo è sempre stato presente negli ultimi decenni, ma dal 2001 al 2011 si è accentuato sensibilmente. Casatenovo pertanto si trova in una situazione sociale in cui la percentuale di anziani continua ad aumentare, in parte, anche per via della qualità della vita odierna, che rende più longeva l'esistenza degli individui, in parte per il calo delle nascite rispetto ai decenni passati, risultato di più cause tra cui sicuramente la crisi economica che sta attraversando il nostro Paese. La tendenza della popolazione ad invecchiare è dunque un dato di fatto che si traduce nell'aumento dell'età media della popolazione. Dal 2002 ad oggi i dati raccolti registrano un innalzamento questo parametro da 40,7 a 43,7 anni.

TAB. 2.1.3  
Dati occupazionali per settore lavorativo nel Comune di Casatenovo

Sezione di attività economica	2007	210
Agricoltura, silvicoltura e pesca	94	104
Estrazione di minerali da cave e miniere	0	0
Attività manifatturiere	841	766
Fornitura energia	0	0
Fornitura acqua, reti e rifiuti	41	0
Costruzioni	265	283
Commercio ingrosso e dettaglio, riparazione autoveicoli	478	459
Trasporto e magazzinaggio	64	46
attività dei servizi di alloggio e di ristorazione	130	191
Servizi di informazione e comunicazione	76	71
Attività finanziarie ed assicurative	64	64
Attività immobiliari	43	57
Attività professionali, scientifiche e tecniche	55	69
Noleggi, agenzie viaggi, servizio supporto imprese	96	103
Istruzione	15	15
Sanità e assistenza sociale	43	63
Attività artistiche, sport di intrattenimento	3	3
Altre attività di servizi	84	88

### 2.1.4.3 Qualità della vita

Un'ultima analisi è rappresentata dallo studio dell'economia di Casatenovo. La valutazione della crescita/decrecita nei principali settori occupazionali del comune oltre che una media dei depositi bancari per abitante confrontati con la realtà provinciale e regionale sono un indice di qualità della vita del paese. Da una prima analisi resa possibile grazie ai dati occupazionali forniti dalla Camera di Commercio di Lecco che analizza gli addetti per sezione di attività economica e per comune tra il 2007 e il 2010, si può evincere che il settore principale è quello manifatturiero, nonostante se ne registri un lieve calo nel triennio in esame. Restano costanti i settori a seguire, del commercio e delle costruzioni, mentre è in aumento l'occupazione nel settore della ristorazione e servizio di alloggio, possibile testimonianza di una riscoperta vocazione turistico ricettiva della Brianza Casatese. Dall'analisi invece dei depositi bancari per abitante e dal

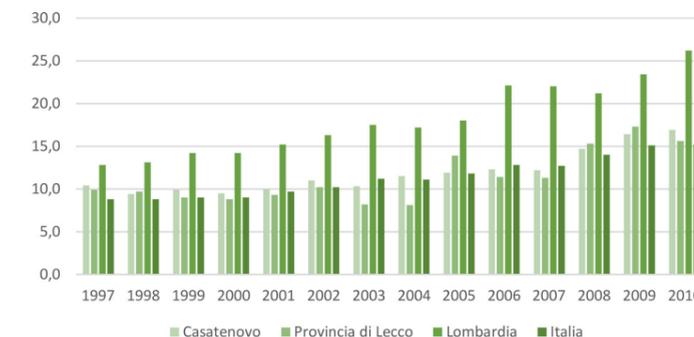


FIG. 2.1.27  
Confronto tra i depositi medi bancari dei cittadini di Casatenovo a diverse scale

confronto con la realtà di appartenenza territoriale, si nota che il livello di ricchezza nel comune di Casatenovo è leggermente superiore al dato della provincia di Lecco, che si attesta molto vicino alla media nazionale, mentre risulta essere nettamente inferiore alla media regionale nell'intervallo degli anni considerati.

## 2.1.5 Analisi morfologica

### 2.1.5.1 Orografia e territorio

Il comune di Casatenovo, con un escursione altimetrica di 156 m, mediata tra il minimo di 240 m e massimo di 396 m sul livello del mare, è caratterizzato da un territorio prevalentemente collinare che geograficamente appartiene alla fascia collinare degli anfiteatri e delle colline moreniche dell'alta Brianza.

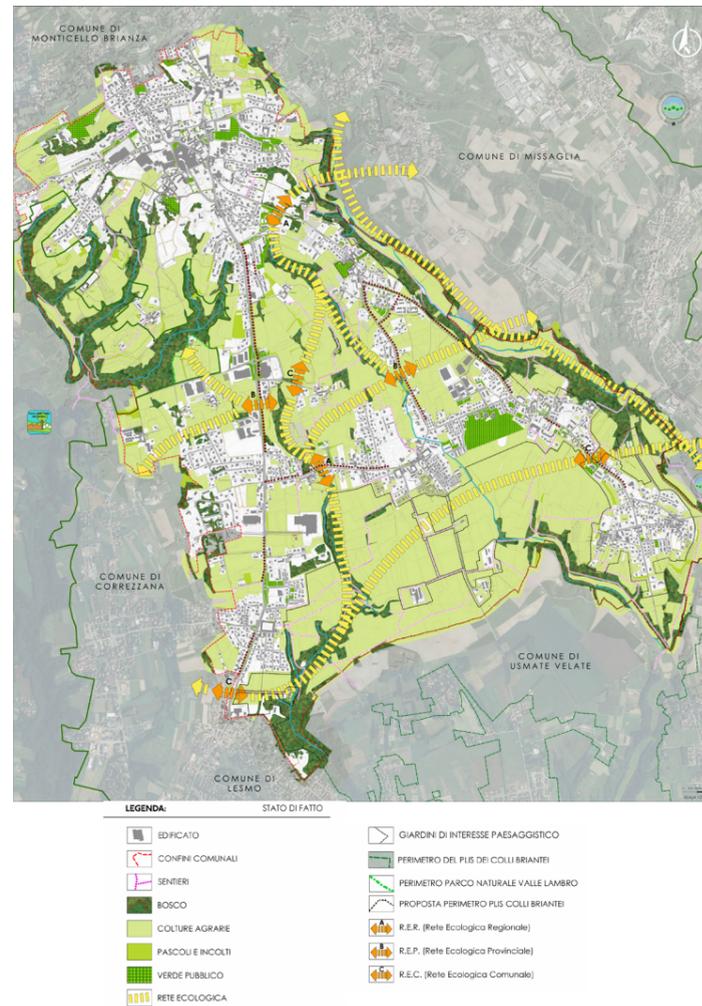
FIG. 2.1.28  
Tipico paesaggio Casatese - strada di campagna per C.na de Bracchi



La sua estensione in direzione sud-ovest è caratterizzata da un importante declivio che va a smorzarsi in una vasta area pianeggiante che prende il nome di "Piana di Rogoredo". Distribuendosi da Casatenovo, ad ovest, a Merate a est, la così detta "alta pianura asciutta" si caratterizza per la naturale permeabilità dei suoli e per la scarsa disponibilità di acque, che non consente la presenza di un'adeguata rete irrigua. Questa fattore ha storicamente ostacolato l'attività agricola impedendo che essa si presentasse nelle forme intensive tipiche della bassa pianura. Le colture seccagne, tipiche di questo paesaggio, si alternano ancora oggi a vasti lembi boschivi, ad associazioni vegetali di brughiera e a popolamenti di pino silvestre che, in altri tempi, assieme alla bachicoltura, mantenevano una loro importante funzione economica. Il paesaggio agrario è dunque caratterizzato da grosse estensioni colturali, di taglio regolare, con andamento ortogonale, a cui si conformano spesso strade e linee di insediamento umano.

Nelle zone limitrofe a questo significativo elemento pianeggiante, il territorio si presenta segnato da impluvi e piccole depressioni determinate dallo scorrimento dei corsi d'acqua. Il sistema idrografico principale è costituito dal Pegorino, dal Lavandaia e dal Nava, mentre le rogge Molgorana e La Folgora costituiscono il sistema idrografico secondario. Si tratta di apparati idrici inquinati, manipolati dalla mano dell'uomo spesso scarica di rifiuti urbani e di scarichi industriali oltre che di punto di raccolta delle acque piovane e degli scarichi fognari. L'organizzazione policentrica dell'apparato edificato si

FIG. 2.1.29  
Sistema del verde nel Comune di Casatenovo



presenta nel complesso composto da aree densamente abitate frammentate e divise da vaste aree agricole e in alcuni casi, solo per i pendii più scoscesi e lungo i corsi d'acqua, da parti boscate, creando nel complesso un insieme di aree ad alto contenuto ambientale e paesaggistico. Per apprezzare appieno le bellezze naturalistiche del territorio, lungo le aree agricolo-boschive di Casatenovo, è presente una rete di sentieri campestri storici per una lunghezza superiore ai 60 Km. Una mappatura di questi è stata eseguita negli scorsi anni dall'Associazione territoriale "Sentieri e Cascine" che ha lavorato in collaborazione con l'Amministrazione Comunale per la posa di una segnaletica lungo questi percorsi per la loro valorizzazione e per rendere agevole la fruizione del territorio. Il territorio del Comune è interamente vincolato ai sensi della legge n.1947/1939 (DM 13 giugno 1969 - Dichiarazione di notevole interesse pubblico).

### 2.1.5.2 Parco Regionale della Valle del Lambro

L'area agricolo boschiva lungo il confine ovest del territorio del Comune è compresa nel Parco Regionale della Valle del Lambro. Il Parco è stato istituito nel 1983, comprende attualmente 35 comuni, tra cui, a partire dal 1996, il Comune di Casatenovo. La sua attuale superficie è di 8.107 ettari di cui 4.080 di parco naturale. Il suo territorio si estende lungo un tratto di 25 km del fiume Lambro compreso tra i laghi di Pusiano e di Alserio a nord e il Parco della Villa Reale di Monza a sud. Il territorio del Parco comprende il tratto collinare del fiume Lambro e

presenta caratteri differenti lungo il suo percorso.

La zona dei laghi corrisponde a quella di più spiccato interesse naturalistico, comprendente ambienti lacustri, già in parte tutelati dalla Riserva naturale orientata della Riva Orientale del Lago di Alserio. Entrambi i laghi sono infatti Siti di Interesse Comunitario (SIC). Più a sud le aree urbanizzate prendono il sopravvento ma rimangono ancora aree naturali di notevole interesse come i due SIC Valle del Rio Cantalupo e Valle del Rio Pegorino. Quest'ultimo, raggiungibile dai sentieri che si dipartono dall'abitato di Cascina Rancate, rappresenta una delle aree di maggior rilevanza paesistica, storica e naturalistica del Comune.

Oltre al nucleo rurale di Cascina Rancate, va infatti citata, a poche centinaia di metri dal nucleo di Rancate, la presenza all'interno della roggia dei resti dell'acquedotto detto 'del Mellerio'.

FIG. 2.1.30  
Segnaletica  
per i sentieri  
storici di  
Casatenovo



### 2.1.5.3 P.L.I.S. dei Colli Briantei

Il comune di Casatenovo nel 2015, dopo il riconoscimento da parte della Provincia di Lecco, è ufficialmente entrato a far parte del P.L.I.S. (Parco Locale di Interesse Sovracomunale) dei Colli Briantei. Questo parco nasce nel 2007 grazie all'intesa tra le amministrazioni di Arcore, Camparada ed Usmate-Velate, con l'intento di salvaguardare i primi rilievi collinari della Brianza EST. Il PLIS ha una superficie di quasi 550 ettari e nasce per tutelare un ambiente collinare con spiccate caratteristiche di naturalità dove sono presenti boschi, campi, corsi d'acqua e piccole zone umide. Il parco così come le aree di Casatenovo confinanti, che riconoscono omogeneità e continuità con il Parco, rappresentano un esempio di ricchezza della biodiversità propria dei rilievi collinari della Brianza orientale. La storica denominazione di questo territorio "Terre alte" o "Brigg" dal termine celtico da cui deriva "Brianza", che significa altura, si riferisce alla caratteristica di questa vasta area che si inserisce tra la pianura padana e le prealpi lombarde. Pensando a queste zone vengono subito in mente immagini di fabbriche, ciminiere, nebbia e smog ma fortunatamente non solo di questo si tratta. Le colline del parco racchiudono un patrimonio naturale e paesaggistico sorprendente fatto di boschi, campi, visuali, corsi d'acqua nonostante la presenza dell'uomo sia ovunque evidente.

Con l'ingresso dell'area agricola boschiva a sud del Comune, la cosiddetta "Piana di Rogoredo", le Rogge Nava e Molgorana e del torrente Molgoretta, il Parco guadagna

indicativamente 360 ettari di nuove aree agricole e boschive. Oltre ad un incremento di superficie notevole dell'area Parco, l'annessione di Casatenovo a tale istituzione, consente la creazione di un corridoio ecologico sulla direttrice Nord-sud in grado di collegare le aree protette del vimeratese con il parco regionale del Curone con il San Genesio e con il parco regionale del Monte Barro fino al lago di Lecco. Lungo le aree agricolo-boschive di Casatenovo è presente una rete di sentieri campestri storici per una lunghezza superiore ai 60 Km. Negli scorsi anni è stata eseguita da un'Associazione del territorio ("Sentieri e Cascine") una mappatura dei sentieri in collaborazione con l'Amministrazione Comunale oltre che la posa di una segnaletica lungo la rete dei sentieri per valorizzare una maggior conoscenza e fruizione del territorio.

### 2.1.5.4 Verde pubblico

Oltre al Parco della Valle del Lambro e il PLIS dei Colli Briantei, sono perlopiù marginali se considerati i confini di pertinenza del comune, è utile indicare e classificare anche le aree esistenti destinate a verde pubblico.

I giardini pubblici attrezzati hanno una distribuzione uniforme nel territorio comunale. I principali sono:

- Area Fiera via Volta (Rogoredo, C.na Bracchi)
- Via dei Tigli (Rogoredo)
- Villa Mariani (Galgiana)
- Santa Margherita (Casatenovo)
- Piazza della Chiesa (Casatenovo)

- Piazza G. Sala – La Colombina (Casatenovo)
- Via S. Giovanni Bosco (Capofioreno)
- Parchi urbani
- Parco di Villa Mariani (Galgiana)
- Parco di Villa Facchi (Casatenovo)
- Area Fieristica (via Volta)
- Parco Vivo (via Monteregio)

Nel complesso questi parchi urbani rappresentano un elemento di criticità per quanto riguarda il livello di manutenzione del verde, la scarsità e l'obsolescenza delle attrezzature di arredo degli spazi, la stessa pulizia dei parchi.

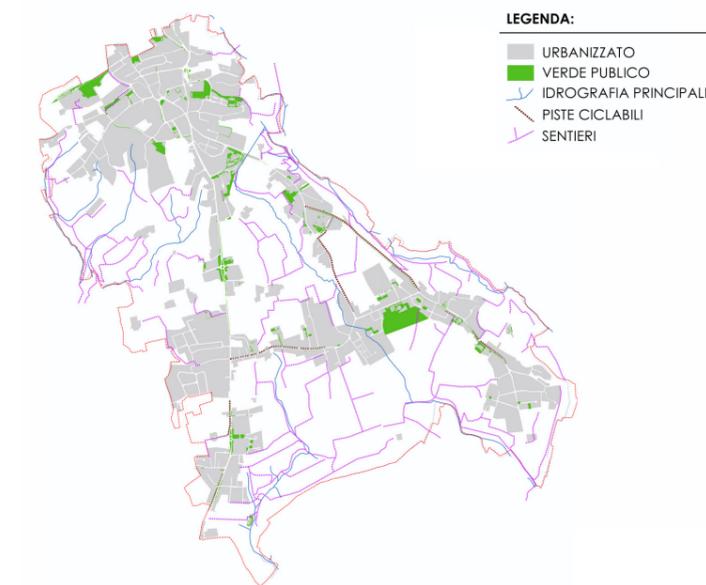


FIG. 2.1.31  
Verde  
pubblico e  
mappatura  
dei sentieri  
storici di  
Casatenovo

### 2.1.5.5 Valutazione sismica

Visti i recenti eventi sismici catastrofici sul territorio nazionale come il *terremoto dell'Aquila* del 2009, *dell'Emilia* nel 2012 e il recentissimo *terremoto del centro Italia* nell'estate 2016, è opportuno fare dei riferimenti preliminari alle criticità dell'area dovute a questo fenomeno. La classificazione sismica dell'Italia è rappresentata da una suddivisione del territorio in specifiche aree caratterizzate da un comune rischio sismico. La normativa di riferimento adottata è il D.M. 14 gennaio 2008 (Norme Tecniche per le Costruzioni) che rispetto alle normative del passato ha introdotto una nuova metodologia per definire la pericolosità sismica di un sito e, conseguentemente, le azioni sismiche di progetto per le nuove costruzioni e per gli interventi sulle costruzioni esistenti. In seguito alla nuova classificazione, tutte le regioni italiane risultano a rischio sismico e di conseguenza, in tutto il territorio nazionale, vige l'obbligo di progettare le nuove costruzioni oltre che intervenire sulle esistenti con il metodo di calcolo semiprobabilistico agli stati limite tenendo conto dell'azione sismica. Il Comune di Casatenovo ricade in Zona sismica 4 ovvero nella zona dove le possibilità di danni sismici sono basse ma non comunque trascurabili. A favore di sicurezza però, dal 10 aprile 2016, in Lombardia è entrata in vigore una nuova classificazione sismica che farà slittare il Comune di Casatenovo, come per tutti i comuni all'interno della regione, alla Zona sismica di un grado maggiore. Si passerà allora da Zona 4 a Zona 3 ovvero, zona con pericolosità sismica bassa, che può essere soggetta a scuotimenti modesti.

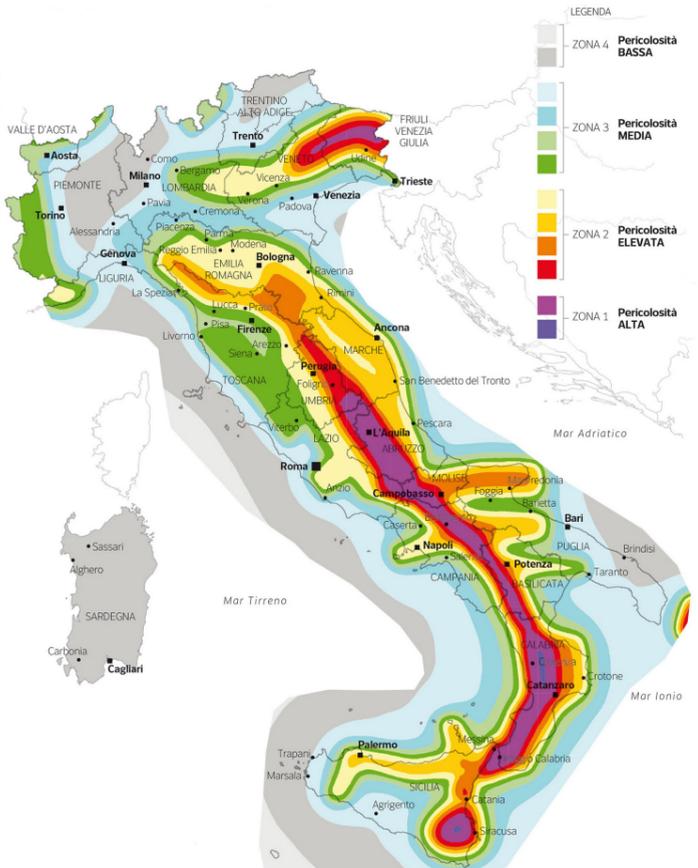


FIG. 2.1.32  
Mappa della  
pericolosità  
sismica in  
Italia

### 2.1.6 Analisi bioclimatica

Il comune di Casatenovo *latitudine 45°41'50"28 N e longitudine 09°18'45"72* è classificato secondo la nomenclatura Koppen-Geiger con la sigla "Cfb" ovvero come regione avente un clima temperato umido con estati caratterizzate da temperature medie attorno ai 22°C. Gli inverni sono piovosi e sensibilmente rigidi con la presenza di rare nevicate stagionali. Le mezze stagioni invece sono brevi e miti mentre l'estate è mediamente una stagione afosa, caratterizzata da eventi temporaleschi frequenti. Come in gran parte del Nord Italia le precipitazioni sono frequenti durante l'anno e i valori di pressione, umidità e temperatura variano sensibilmente lungo il corso di questo. Con una media di temperature annue attorno ai 14°C, il mese più caldo risulta essere luglio con i suoi 32,1°C di media mentre il più freddo è il mese di gennaio con una media di 1,4°C di media. Le precipitazioni come già anticipato sono mediamente abbondanti ed hanno una media annua di 1127,1 mm con un conseguente tasso di umidità medio del 75,5%.

#### 2.1.6.1 I cambiamenti climatici

Facendo riferimento alle analisi climatiche degli ultimi quarant'anni è stato possibile effettuare uno studio sulle variazioni di temperatura e umidità che stanno coinvolgendo il comune di Casatenovo. Studiare la storia della climatologia del Casatese non solo

ci consente di vedere come i cambiamenti climatici stiano caratterizzando quest'area geografica, ma ci permette di delineare uno scenario futuro su quelle che un domani sarà il clima in questa zona. Progettare un edificio scolastico significa realizzare un involucro che garantisca comfort climatico ai propri users e sistemi di produzione di energia da fonti rinnovabili in grado di funzionare in modo efficiente per almeno i prossimi cinquant'anni. Servendoci dei dati presenti nell'archivio del "Servizio Meteorologico dell'aeronautica Militare" oltre che dell'archivio storico statistico de "ilmeteo.it" è stato possibile tabulare importanti dati relativi a temperatura, umidità, precipitazioni e venti nel periodo che intercorre tra il 1970 e il 2010. Se nei trent'anni compresi tra il 1970 e il 2000 si registrano lievi variazioni sulle medie decennali, nell'ultimo decennio considerato, ovvero quello tra il 2000-2010, si assiste a consistenti cambiamenti. Negli ultimi quarant'anni l'uomo ha esercitato un'influenza crescente sul clima e sulla temperatura terrestre con attività come la combustione di combustibili fossili, la deforestazione e l'allevamento di bestiame. Queste attività aggiunge hanno aggiunto enormi quantità di gas serra a quelle naturalmente presenti nell'atmosfera alimentando lo stesso effetto serra e il riscaldamento globale. Nell'ultimo periodo, con il miglioramento e lo sviluppo economico di grandi nazioni come India, Cina e Brasile per citarne alcuni, si assiste ad un peggioramento globale delle condizioni ambientali dovuto al crescente inquinamento

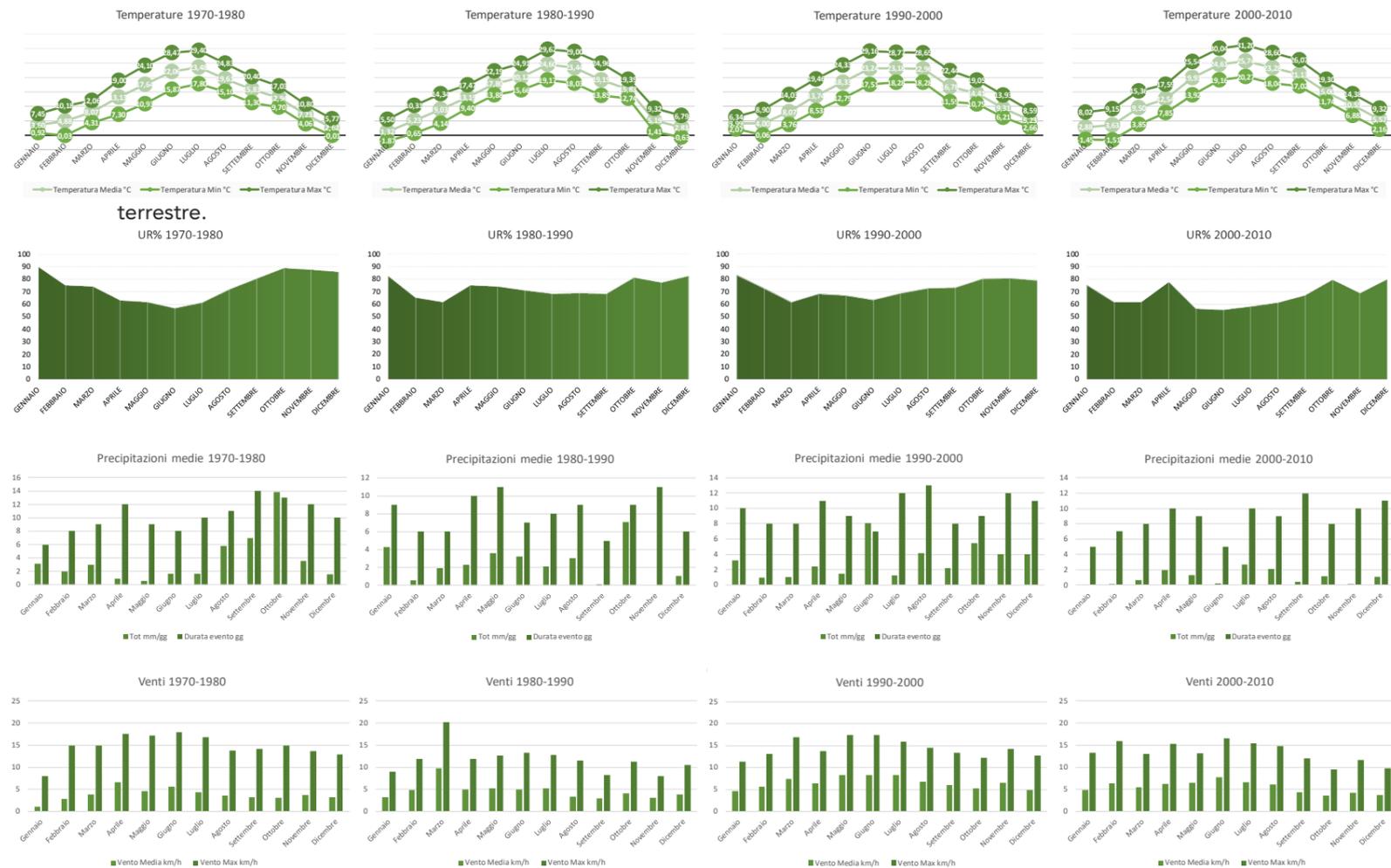


FIG. 2.1.33 Storia climatica degli ultimi trent'anni

Entrando in un'ottica in cui si sta raggiungendo un trend di consumo non sostenibile derivante da risorse non rinnovabili ci troviamo ad un crocevia. Cambiare è ancora possibile ma il tempo per agire è limitato. L'innalzamento delle temperature che si registra nel Casatese è di 0.5°C nei trent'anni precedenti il 2000 e di 1°C solo nell'ultimo decennio. Anche il livello di umidità e di precipitazioni medie annue è in cambiamento. Se una volta le stagioni erano caratterizzate da primavere e autunni miti ed estati calde ma mitigate da piogge temporalesche e inverni piovosi, oggi non è più così. Estati afose ed inverni secchi intervallati da mezze stagioni in cui si concentrano maggiormente le precipitazioni, fanno avvicinare sempre più l'indice climatico verso una tipologia tropicale piuttosto che una continentale. Un aumento di 2°C rispetto alla temperatura dell'era preindustriale viene considerato dagli scienziati come la soglia oltre la quale vi è un rischio di gran lunga maggiore che si verifichino mutamenti ambientali pericolosi e potenzialmente catastrofici a livello mondiale.

### 2.1.6.2 La situazione attuale

Lo studio e la valutazione delle condizioni climatiche attuali si rivelano fondamentali per la progettazione dell'involucro e per il calcolo prestazionale dell'intero edificio. In un intervallo di tempo di cinque anni tra il 2010 e il 2015, si riportano i dati attribuiti alla contemporaneità.

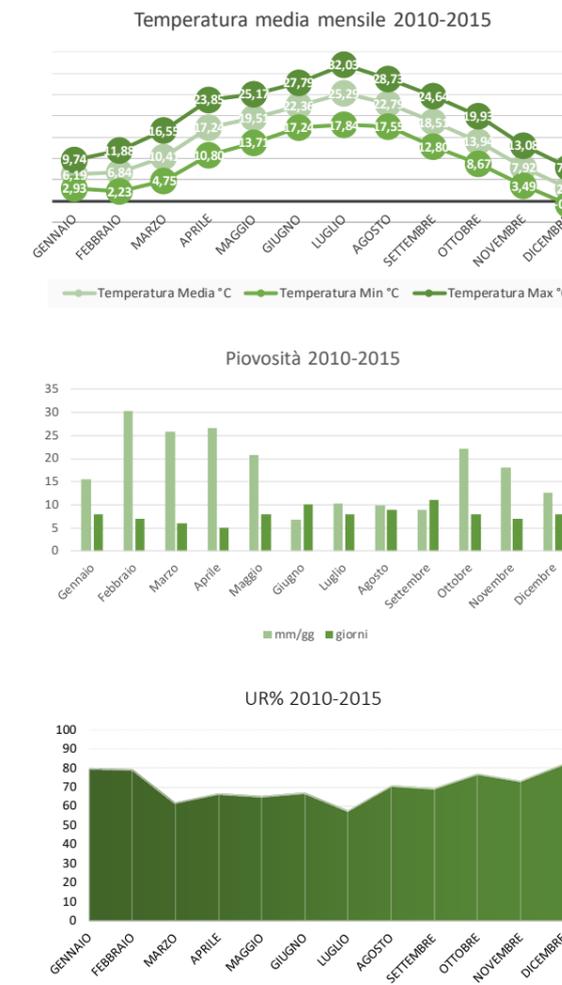


FIG. 2.1.34 I dati climatici oggi

Una prima considerazione viene effettuata sul grafico delle temperature relative. Il mese più caldo risulta essere luglio con una media massima di 32,03°C e una media totale di 25,29°C. Se si considera inoltre la tabella delle temperature assolute il primato in termini di massimi viene mantenuto dal mese estivo con un picco di 36,5°C. La stagione fredda invece vede il mese dicembre come quello relativamente più freddo con una media di 2,88°C e un minimo medio di -0,82°C. In termini assoluti la temperatura più bassa registrata è stata in questo mese di -4,1°C. In termini di umidità relativa la situazione è abbondantemente variabile lungo il corso dell'anno. Complessivamente la valutazione igrometrica ci fa identificare dicembre come il mese maggiormente umido con un'82,17% medio e luglio invece come mese più secco al 57,97% di UR. Si registrano poi dei picchi storici che hanno raggiunto il 95% nei mesi di febbraio e marzo 2012 e dei minimi del 29% nel settembre 2013. La primavera è la stagione nel complesso più piovosa nonostante il mese in cui si registra il valore maggiore in termini di mm di acqua caduta al suolo siano febbraio con 212,4 mm. Giugno di contro è il mese più secco in cui le precipitazioni fanno registrare un minimo di 68,0 mm. Le brezze che soffiano su Casatenovo vengono così chiamate per la loro scarsa intensità pressoché costante lungo tutto il corso dell'anno; si tratta per lo più di venti deboli causati principalmente dalle alte pressioni invernali o estive. Nonostante si siano registrati dei massimi eccezionali di 16 km/h nel mese di Luglio 2013 si considera una media costante che si aggira attorno ai 5 km/h.

### 2.1.6.3 Radiazione solare

Prendere consapevolezza dei movimenti solari stagionali oltre che dell'intensità della radiazione ci permette in fase di progettazione preliminare di fare interessanti considerazioni. Attraverso i grafici sulla declinazione del sole è possibile comprendere a meglio quali sono le orientazioni maggiormente favorevoli in termini di guadagni solari e quali meno. Il sole è una risorsa preziosa e fondamentale quando si vogliono costruire edifici ad impatto zero. Si tratta di una fonte rinnovabile inesauribile che ci consente di risparmiare oltre che di produrre energia. Sistemi fotovoltaici opportunamente dimensionati ed orientati permettono la generazione di l'energia elettrica oltre che termica nel caso di sistemi a solare termico. Gli apporti solari in regime invernale consentono di diminuire la quantità di riscaldamento necessaria per l'ottimizzazione del clima interno mentre in estate sistemi schermanti devono consentire una neutralizzazione dello stesso. Un'ulteriore ed altrettanto importante considerazione deve essere fatta sull'illuminazione naturale che risulta essere fondamentale nella progettazione di una scuola. L'illuminazione naturale è infatti molto importante per diversi aspetti che possono sintetizzarsi nel benessere fisiologico e psicologico degli individui e nel risparmio energetico, riducendosi la necessità nell'uso dell'illuminazione artificiale. I valori dell'altezza solare e dell'azimut in qualsiasi periodo dell'anno possono essere facilmente conosciuti utilizzando i diagrammi dei percorsi solari; in coordinate polari o in coordinate

FIG. 2.1.34 Diagrammi solari - inclinazioni e altezze stagionali

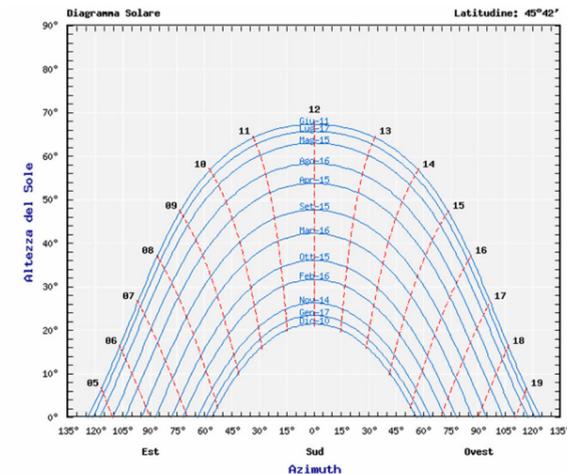
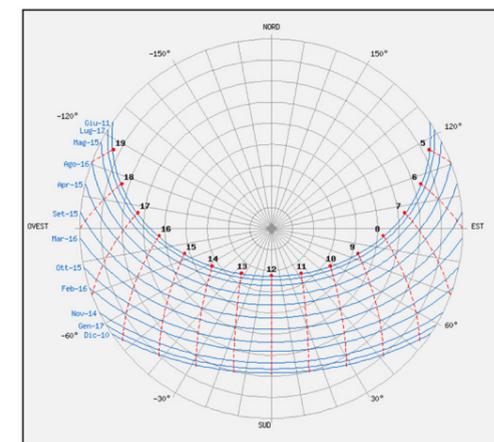


FIG. 2.1.35 Diagrammi solari - percorsi solari stagionali



21 giugno'				22 dicembre'			
Ora	Ora solare	Azimut	Altezza solare	Ora	Ora solare	Azimut	Ora solare
05:00	04:35	59.0°	2.9°	08:30	08:09	129.1°	3.5°
06:00	05:35	69.1°	12.4°	09:30	09:09	140.7°	10.9°
07:00	06:35	78.9°	22.5°	10:30	10:09	153.6°	16.7°
08:00	07:35	89.0°	33.0°	11:30	11:09	167.6°	20.2°
09:00	08:35	100.4°	43.5°	12:30	12:09	-177.7°	21.1°
10:00	09:35	114.7°	53.5°	13:30	13:09	-163.2°	19.3°
11:00	10:35	135.0°	62.2°	14:30	14:09	-149.5°	15.1°
12:00	11:35	165.3°	67.5°	15:30	15:09	-137.0°	8.1°
13:00	12:35	-158.8°	66.9°	16:30	16:09	-125.7°	0.9°
14:00	13:35	-130.5°	60.7°				
15:00	14:35	-111.7°	51.7°				
16:00	15:35	-98.1°	41.5°				
17:00	16:35	-87.0°	31.0°				

TAB. 2.1.4 Tabella riassuntiva delle ore di luce e delle altezze solari

cartesiane. Per questi parametri, si è deciso di valutare l'altezza oraria solare e il corrispettivo valore dell'angolo di azimut per l'equinozio di primavera (21 marzo) e di autunno (23 settembre) oltre che per i solstizi d'estate (21 giugno) ed d'inverno (22 dicembre). Per quanto riguarda le situazioni di massimo e minimo in termini di altezza solare, la maggiore si registra il 21 giugno ed è pari a 67,5° registrato alle ore 12.00, mentre il 22 dicembre nel solstizio invernale, si registra il minimo di 21,2° raggiunta alle ore 12.30. Molto Interessanti risultano essere i dati relativi alla radiazione solare incidente al suolo. La media annuale del comune è di 4904 MJ/m<sup>2</sup> (1362 kW/m<sup>2</sup>), di circa 600 MJ/m<sup>2</sup> superiore rispetto a quella dei comuni limitrofi della provincia di Lecco. Questo dato è dovuto alla localizzazione geografica di Casatenovo. Trovandosi in una zona collinare in leggero declivio in direzione sud/sud ovest verso la pianura brianzola, l'esposizione è ottimale. L'irradiazione solare giornaliera media mensile [MJ/m<sup>2</sup>] risulta essere di:

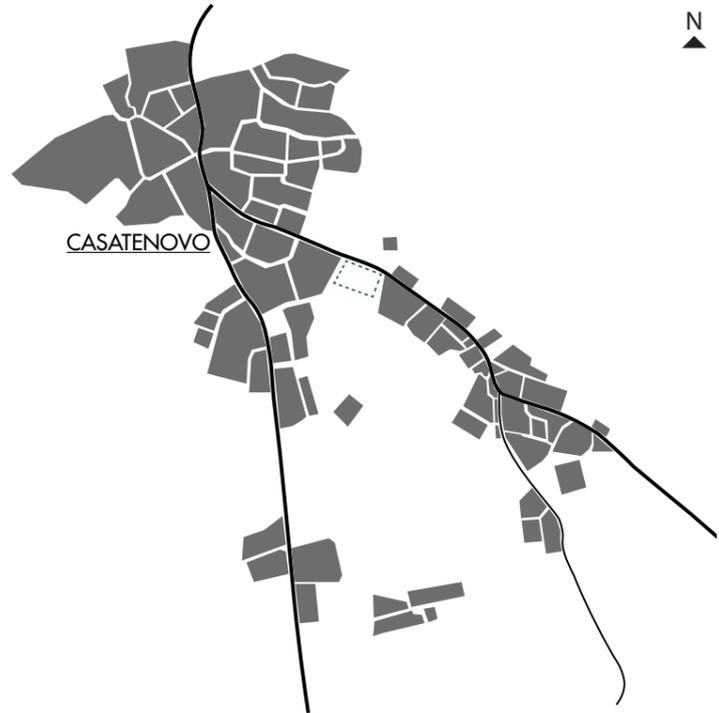
Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
1,3	2,1	3,6	4,6	5,5	6,1	6,1	5,2	3,9	2,6	1,6	1,1

TAB. 2.1.5 Irradiazione solare media

# 2.2 AREA DI PROGETTO

## 2.2.1 Localizzazione

FIG. 2.2.1 L'area di progetto tra Casatenovo Centro e Galgiana fraz.



### 2.2.1.1 Descrizione area di progetto

L'area individuata da I bando del comune di Casatenovo per la realizzazione della nuova scuola è collocata tra il centro della città e la frazione di Galgiana in direzione sud-est rispetto al primo. La superficie complessiva dell'area di circa 11.950 mq è completamente ineditata e si trova di fronte all'attuale polo scolastico delle Scuola secondaria e Primaria di Cascina Crotta. L'area, provenendo da una delle arterie principali del territorio comunale, Via San Giacomo, è accessibile da Via Crotta. L'area in oggetto riveste un ruolo di evidente interesse pubblico per la sua adiacenza all'area scolastica e per il carattere strategico di corridoio ecologico attribuitogli. L'area è difatti integrata all'interno dell'Ambito di Trasformazione n.11 previsto da PGT del Comune di Casatenovo. L'area è racchiusa a sud e ad est da proprietà private recintate a quote inferiori rispetto al lotto. Oltre la Via San Giacomo, verso nord, sono presenti due ville storiche ottocentesche di importanza storico artistica sorte sull'antico sito del Convento di San Giacomo (importanti anche per il verde a giardino), a est è presente un vivaio di notevole dimensioni. A ovest, oltre il polo scolastico menzionato, il territorio è articolato da residenze mentre a sud i campi agricoli e il dislivello dovuto alla presenza del torrente Molgorana, lasciano libera la visuale verso i territori milanesi.

FIG. 2.2.1 Inquadramento dell'area di progetto.

FIG. 2.2.2 Inquadramento catastale dell'area di progetto.



### 2.2.1.2 Inquadramento catastale

I lotti catastali, interessati dall'area e dall'ambito di trasformazione e destinati a "insediamenti specialistici per servizi pubblici" nella fattispecie destinati ad area per il nuovo polo scolastico sono i lotti: mapp. 7818 (5.859 mq), mapp. 7820 (5.855 mq), parte del mapp. 7817 e parte del mapp. 9251 del Catasto Censuario di Casatenovo, Terreni al foglio 1. I lotti di cui sopra sono attualmente di proprietà privata, ma la procedura per l'acquisizione gratuita delle aree è già stata avviata tramite l'approvazione dell'Ambito di Trasformazione n. 11 da parte del Comune di Casatenovo.

### 2.2.1.3 Inquadramento storico

Dai catasti storici a partire dal Catasto così detto "teresiano"

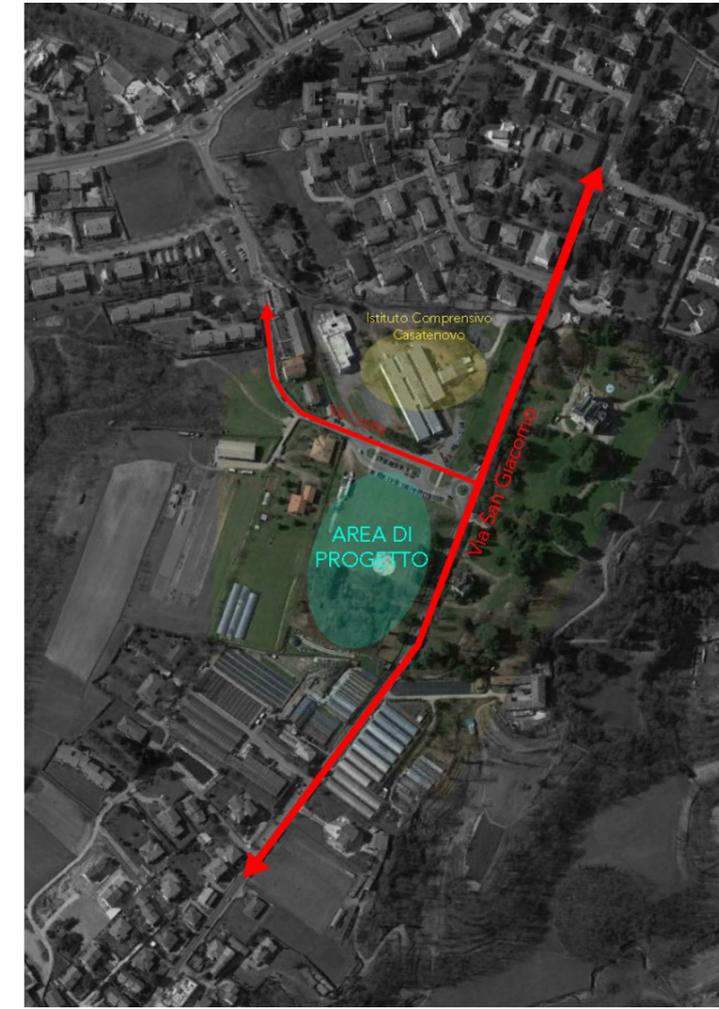


FIG. 2.2.3 Vista satellitare dell'area in oggetto

non si evince un tipo di manufatto antropico sull'area. Si nota tuttavia, immediatamente a nord del lotto in questione, l'antica presenza della Cascina Quattro Valli e del Convento di San Giacomo, poi andato distrutto sui cui resti è stata edificata la Villa Lattuada. Dagli stessi catasti si evince che la Via San Giacomo è una strada di origine storica.

### 2.2.2.3 Analisi FDOM - SWOT

L'analisi SWOT è uno strumento che viene usato nella formulazione della gestione strategica. Può aiutare ad identificare le Forze (Strengths), Debolezze (Weaknesses), Opportunità (Opportunities) e Minacce (Threats).

Essa è utile per la lettura e l'interpretazione dei dati territoriali. L'obiettivo è quello di mettere in evidenza gli elementi di forza e debolezza di un determinato contesto territoriale dal punto di vista della consistenza del patrimonio di risorse su cui può contare e sulle sue principali dinamiche.

TAB. 2.2.1  
Matrice SWOT

<p><b>Punti di forza:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Parco naturale colli briantei</li> <li>• Sistema di elevata accessibilità e forte integrazione</li> <li>• Ampi spazi aperti da tutelare (vista su piana di Rogoredo)</li> <li>• Planarità area di progetto</li> <li>• Barriera acustica naturale su Via San Giacomo</li> </ul>	<p><b>Opportunità:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Realizzazione corridoio ecologico (piana di Rogoredo)</li> <li>• Integrazione offerta culturale</li> <li>• Miglioramento sostenibilità (risparmio energetico e fonti rinnovabili)</li> <li>• Creazione di percorsi didattici negli spazi verdi adiacenti</li> <li>• Rapporto con ville storiche su Via San Giacomo</li> </ul>
<p><b>Punti di debolezza:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bassa qualità degli insediamenti e dell'edificazione recente dal punto di vista formale</li> <li>• Scarsa attenzione alla tutela del paesaggio e tendenza alla tutela del singolo bene</li> <li>• Vetustà degli adiacenti edifici scolastici</li> </ul>	<p><b>Minacce:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Caratterizzazione periferica del sistema</li> <li>• Banalizzazione del paesaggio</li> </ul>

## 2.2.2 Bando di concorso

### 2.2.2.1 Tema

In data 12.11.2015 è stato indetto il concorso di idee di tipo aperto, relativo alla "Realizzazione della Nuova Scuola Secondaria di primo grado del Comune di Casatenovo", per conto del Comune di Casatenovo.

Il Comune intende procedere con la costruzione di un nuovo polo scolastico per la Scuola Secondaria di Primo grado "Maria Gaetana Agnesi" al fine di perseguire gli obiettivi determinati dalle necessità contingenti dovute alla vetustà e impossibilità di ulteriore intervento sulla scuola attuale. Il progetto oggetto del concorso di idee deve essere concepito con l'obbiettivo di prevedere la realizzazione di un complesso unitario che contenga l'intera scuola con tutti gli spazi e pertinenze previsti dalla normativa vigente, soddisfacendo gli standards dimensionali, previsti dalle normative di riferimento.

### 2.2.2.2 Richieste progettuali

#### UTENZA

Trattandosi di una Scuola secondaria di Primo Grado gli orari in cui si svolge l'attività didattica prevedono la presenza di alunni dalle prime ore del mattino fino alle 17.00 del pomeriggio.

La Scuola in oggetto è inoltre punto di riferimento di attività culturali serali come possono essere corsi di italiano per stranieri e lingue estere, oppure sede di attività sportive di associazioni

locali. Oltre che fornire servizio durante il periodo scolastico, anche nei mesi estivi vi è un utilizzo della struttura Scuola da parte dei centri ricreativi comunali e parrocchiali.

Gli spazi devono essere dimensionati per l'alloggio di una popolazione scolastica prevista in 6 sezioni, tenendo conto inoltre delle attività scolastiche ed educative, ludiche e sportive che si potranno svolgere all'aperto, della necessaria dotazione di parcheggi riservati e non, dell'accessibilità dei mezzi e di soccorso oltre che disegnare elemento di arredo e contorno ambientale in rapporto al contesto urbanistico, sociale e paesaggistico.

#### CRITERI DI PROGETTAZIONE

Nella progettazione dell'organizzazione complessiva degli spazi bisogna adeguarsi agli standard minimi dimensionali e funzionali previsti per le Scuole Secondarie di primo Grado in riferimento a ciascuna delle funzioni previste. Nel caso di aggiornamenti e trasformazioni didattiche e anagrafiche l'organismo edilizio dovrà dimostrare di essere in grado di evolversi e adattarsi con soluzioni economicamente e tecnicamente contenute. La configurazione degli organismi edilizi che compongono la scuola devono improntarsi a criteri di estrema razionalità e flessibilità sia dal punto di vista distributivo che funzionale oltre che realizzativo, e dovrà consentire la piena accessibilità ai portatori di handicap (sia allievi, insegnanti, non docenti, genitori o visitatori).

#### CENTRO COTTURA E MENSA

All'interno del lotto bisogna inoltre prevedere i blocchi per ospitare le cucine, gli spogliatoi e le sale per la somministrazione di cibi e bevande, con un centro cottura dimensionato per la preparazione di tutti i pasti da somministrare nelle scuole dell'istituto comprensivo (1700-1900 pasti per alunni e personale). Lo spazio mensa deve essere pensato anche in funzione di attività sull'educazione alimentare.

#### SPORT

La palestra per attività sportive e ricreative, deve essere dimensionata per ospitare le varie attività sportive previste dal C.M. 20 dicembre 1983 oltre che contenere spogliatoi, servizi igienici, deposito degli attrezzi e tribune accessibili anche ai portatori di handicap. L'ingresso alla palestra deve garantire la possibilità di consentire l'accesso anche indipendentemente dagli orari di apertura della scuola stessa.

#### EFFICIENZA E COMFORT

Le caratteristiche prestazionali degli ambienti didattici dal punto di vista acustico, illuminotecnico, termoigrometrico e di purezza dell'aria dovranno uniformarsi alla normativa di settore e alle scelte tecniche all'avanguardia.

L'organismo edilizio complessivo, uniformandosi al contesto di alto pregio ambientale su cui si inserisce, deve in ogni modo assumere caratteristiche di innovatività sia dal punto di vista architettonico che strutturale.



FIG. 2.2.4  
Utenza aperta



FIG. 2.2.5  
Criteri di progettazione innovativi



FIG. 2.2.6  
Attrezzature sportive aperte a tutti



FIG. 2.2.7  
Caratteristiche elevate di efficienza e comfort

L'impianto progettuale deve prendere come riferimento i dettami della bioedilizia prevedendo l'uso di materiali e tecnologie innovative che prevedono il contenimento dei costi energetici e l'uso diffuso di fonti di energie rinnovabili. Deve altresì garantire a tutte le aule un adeguato soleggiamento diretto.

Particolare attenzione deve essere posta all'utilizzo di materiali di coibentazione naturali e all'abbattimento acustico degli elementi di separazione tra gli ambienti interno/interno e interno/esterno.

Gli organismi edilizi ed i dispositivi tecnici e tecnologici inseriti nel progetto devono soddisfare le normative in ordine alla sicurezza antincendio, alla prevenzione sismica, al contenimento dei consumi energetici e all'uso di fonti di energia rinnovabili, per quanto applicabili al caso con l'obiettivo di una ecosostenibilità generale.

#### AMBIENTI RICHIESTI

In sintesi, oltre alle aule didattiche con lezioni a carattere frontale, nella progettazione dell'organismo edilizio vanno quindi previsti almeno:

- Laboratorio di lingue;
- Laboratorio di informatica;
- Laboratorio di educazione artistica;
- Laboratorio di tecnologia;
- Laboratorio di scienze;

- Laboratorio di musica;
- Laboratorio di teatro/palestrina/life skills training;
- Biblioteca e biblioteca multimediale;
- Archivio;
- Aule piccole;
- Auditorium e/o aula magna;
- Magazzino;
- Segreteria;
- Aula/e docenti;
- Sala relax;
- Mensa (laboratorio educazione alimentare) e centro cottura, spogliatoi personale;
- Palestra con annessi spogliatoi e servizi;
- Infermeria;
- Spazi esterni coperti;
- Spazi esterni attrezzati per attività sportive e altro;
- Parcheggi liberi e riservati, soste per pullman, stalli per biciclette e motorini.

## 2.2.4 Vincoli ambientali

### 2.2.4.1 Vincoli ambientali su larga scala

Per comprendere i vincoli ambientali che esistono sul territorio in oggetto bisogna porre l'attenzione su un'area di scala più ampia. Si è riscontrata la presenza di vari tipi di vincolo ambientale. Tutto il territorio comunale del Comune di Casatenovo è

sottoposto a vincolo paesaggistico-ambientale con Decreto Ministeriale 13/06/1969 "Dichiarazione di notevole interesse pubblico ai sensi della Legge 29 giugno 1939 n. 1497" (v. art. 136 del D.lgs. 42/2004) a ciò aggiungere le numerose aree di salvaguardia presenti sul territorio. Proseguendo con l'analisi dei vincoli si è riscontrata la presenza di vincoli dei "Plis", ovvero Parchi locali di Interesse Sovracomunale. Casatenovo inoltre è posizionata tra due importanti vincoli sui PR, parchi regionali. L'area agricola boschiva lungo il confine ovest del territorio del Comune è compresa nel Parco Regionale della Valle del Lambro.

### 2.2.4.2 Vincoli su scala di progetto

Una volta analizzati su grande scala queste aree e definiti i vincoli che sussistono di esse, ci si può avvicinare all'area di progetto e vedere se qualcuno dei vincoli citati interessa da vicino la futura progettazione.

Dal Documento di Piano si riportano i seguenti vincoli sull'area oggetto di intervento:

- vincoli territoriali quali D.lgs. 42/2004 art. 142 lettera c - corsi d'acqua e lettera g boschi verde a prevalente valenza ambientale identificato dal PTCP "Ambiti agricoli di interesse strategico"
- passaggio della Rete Ecologica a livello di importanza Regionale, infatti sull'area sono segnati sottopassi faunistici e varchi ecologici che in effetti collegano l'ambiente naturale della Valle della Nava con la Valle

della Molgora.

### 2.2.4.2 Verifica del piano di assetto idrogeologico e classificazione geologica

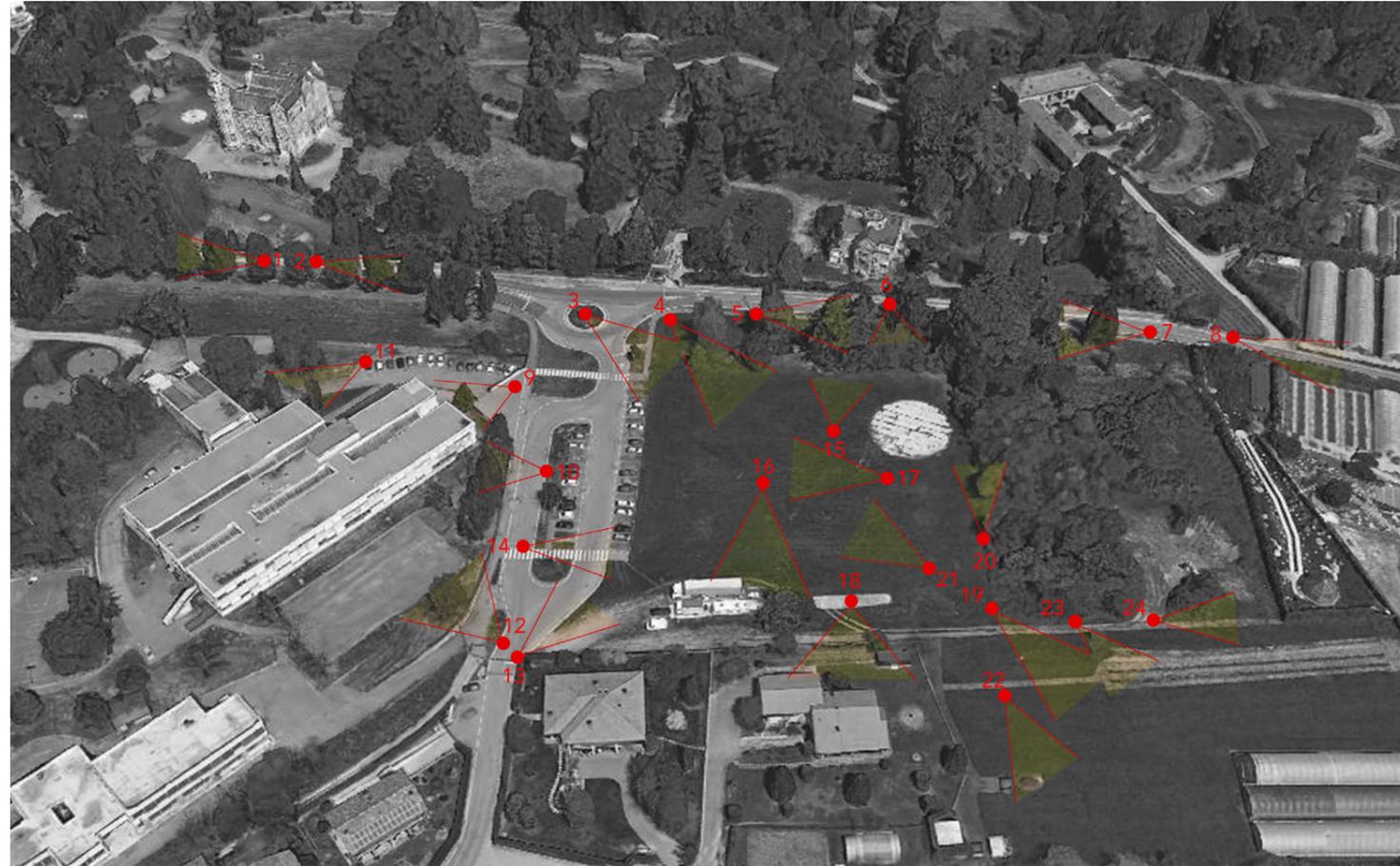
L'area in oggetto, in base alle analisi effettuate e presenti nel PGT vigente, è caratterizzata dalla presenza di falde acquifere sospese, ed individua come zona Z4C -zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi, comprese le coltri loessiche per cui negli effetti di pericolosità sismica locale comporterebbe delle amplificazioni litologiche e geometriche. Tutto ciò colloca l'area in Classe 3 di fattibilità geologica.



FIG. 2.2.8 Rete ecologica regionale instante sull'area di progetto

### 4.2.5 Rilievo fotografico

FIG. 2.2.9  
Rilievo foto-  
grafico: coni  
ottici



1

FIG. 2.2.10  
Accesso da Via  
San Giacomo,  
direzione  
Nord



3

FIG. 2.2.12  
Vista in  
direzione Sud  
dell'area di  
progetto



2

FIG. 2.2.11  
Accesso da Via  
San Giacomo,  
direzione Sud



4

FIG. 2.2.13  
Percorso pe-  
donale di Via  
San Giacomo  
in direzione  
Sud





**5**  
 FIG. 2.2.14  
 Filare di alberi  
 su Via San  
 Giacomo



**7**  
 FIG. 2.2.16  
 Percorso pe-  
 donale di Via  
 S. Giacomo  
 in direzione  
 Nord



**9**  
 FIG. 2.2.18  
 Ingresso  
 dell'attuale  
 Scuola  
 Secondaria di  
 I grado "M. G.  
 Agnesi"



**11**  
 FIG. 2.2.20  
 Spazio ricrea-  
 tivo all'aperto  
 "M. G. Agnesi"



**6**  
 FIG. 2.2.15  
 Dettaglio dei  
 primi abeti a  
 confine del  
 lotto



**8**  
 FIG. 2.2.17  
 Prosecuzione  
 di Via S. Giaco-  
 mo, direzione  
 Sud



**10**  
 FIG. 2.2.19  
 Targa e  
 dettaglio del  
 prospetto  
 dell'Istituto



**12**  
 FIG. 2.2.21  
 Prospetto Sud  
 della Scuola  
 Secondaria di  
 I grado "M. G.  
 Agnesi"

**13**

FIG. 2.2.22  
Vista in direzione Nord-Est dell'area di progetto



**15**

FIG. 2.2.24  
Dettaglio di Villa signorile prominente il lato Nord-Est



**16**

FIG. 2.2.26  
Vista in direzione Nord verso l'Istituto "M. G. Agnesi"



**19**

FIG. 2.2.28  
Vista in direzione Sud con campi coltivati e serre



**14**

FIG. 2.2.23  
Vista in direzione Sud-Est dell'area di progetto



**16**

FIG. 2.2.25  
Vista in direzione Sud-Ovest e insediamento abusivo



**18**

FIG. 2.2.27  
Dettaglio della villetta adiacente il lotto in direzione Sud-Ovest



**20**

FIG. 2.2.29  
Dettaglio della linea di confine a Sud del lotto



**21**

*FIG. 2.2.30  
Vista d'insieme  
del lotto  
in Direzione  
Nord*



**23**

*FIG. 2.2.32  
Dettaglio  
delle coltiva-  
zioni seccagne  
presenti a Sud*



**22**

*FIG. 2.2.31  
Vista in  
direzione  
Sud-Ovest con  
campi coltivati*



**24**

*FIG. 2.2.33  
Vista in  
direzione Sud  
sulla piana di  
Rogoredo*



03

LA SCUOLA

## 3.1 IL SISTEMA EDUCATIVO

### 3.1.1 La scuola in Italia

#### 3.1.1.1 Il sistema scolastico italiano

In Italia, il sistema educativo di istruzione e di formazione è organizzato in base ai principi della sussidiarietà e dell'autonomia delle istituzioni scolastiche.

Lo Stato ha la competenza legislativa esclusiva per quanto riguarda *le norme generali sull'istruzione*, e la determinazione dei livelli essenziali delle prestazioni che devono essere garantiti su tutto il territorio nazionale e i principi fondamentali che le Regioni devono rispettare nell'esercizio delle loro competenze. Le Regioni hanno la potestà legislativa concorrente in materia di istruzione, ed esclusiva in materia di istruzione e formazione professionale. Le scuole hanno autonomia didattica, organizzativa e di ricerca, sperimentazione e sviluppo.

Il sistema educativo è attualmente organizzato come segue:

- *scuola dell'infanzia* per i bambini da 3 a 6 anni;
- *primo ciclo di istruzione*, della durata complessiva di 8 anni,

articolato in *scuola primaria* (5 anni) per i bambini da 6 a 11 anni, e *scuola secondaria* di primo grado (3 anni) per alunni da 11 a 14 anni;

- *secondo ciclo di istruzione* costituito da *scuola secondaria di secondo grado* di competenza statale (5 anni), rivolta agli alunni dai 14 ai 19 anni (licei, istituti tecnici e istituti professionali), e *percorsi triennali e quadriennali di istruzione e formazione professionale (IFP)* di competenza regionale;
- *istruzione e formazione post-secondaria non terziaria*;
- *istruzione terziaria*;
- *istruzione superiore*, per alunni dai 19 ai 24 anni, organizzata in percorsi di primo, secondo e terzo ciclo, sulla base della struttura del Processo di Bologna.

L'istruzione obbligatoria ha la durata di 10 anni, da 6 a 16 anni di età, e comprende gli otto anni del primo ciclo di istruzione e i primi due anni del secondo ciclo (DM 139/2007). Dopo aver concluso il primo ciclo di istruzione, gli ultimi due anni di

*"La scuola, oggi soprattutto, deve avere il compito di testimoniare la coscienza civile di un paese. Una buona scuola, anche dal punto di vista della cultura architettonica, è valida se sa risolvere i problemi e rispondere alle attese più che fornire spazi tecnici. La scuola palesa tutta la sua arretratezza, le sue rughe quando si accontenta di sopravvivere dentro forme precarie e discutibili, piuttosto che mirare a soluzioni tendenti a promuovere le migliori aspettative."*

M.botta, in M. Botta, P. Crepet, G. Zois, *Dove abitano le emozioni*, Einaudi, Torino, 2007

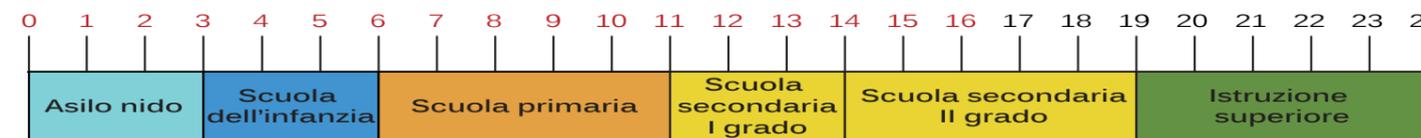
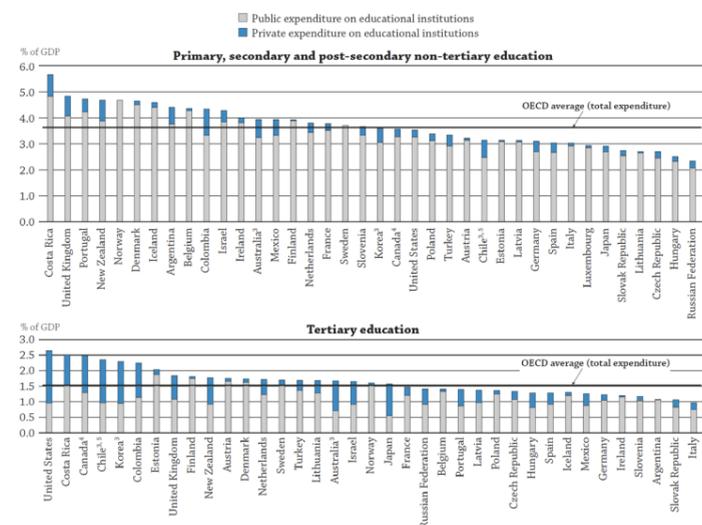


FIG. 3.1.1  
Il percorso  
scolastico in  
Italia

obbligo (da 14 a 16 anni di età), possono essere assolti nella scuola secondaria di secondo grado, di competenza statale (licei, istituti tecnici e istituti professionali), o nei percorsi di istruzione e formazione professionale di competenza regionale (legge 133/2008). Tutti i giovani inoltre devono rispettare il diritto/dovere di istruzione e formazione per almeno 12 anni o, comunque, sino al conseguimento di una qualifica professionale triennale entro il 18° anno di età (legge 53/2003).

Nel caso auspicato di prosecuzione degli studi in un Istituto Secondario Superiore, dopo il superamento dell'esame, si accede ai corsi di istruzione terziaria.

FIG. 3.1.2  
Sulla spesa pubblica per l'istruzione in rapporto al PIL - OCSE 2016



### 3.1.1.2 I problemi di oggi

Il quadro che emerge dell'istruzione italiana dall'analisi degli indicatori OCSE (Organizzazione per la cooperazione e lo sviluppo economico) è abbastanza allarmante ed evidenzia alcune urgenti sfide per i decisori politici. In particolare, si sottolinea la necessità di:

- investire la tendenza negativa nel finanziamento dell'istruzione;
- formare, motivare e rinnovare il corpo docente;
- aumentare il numero degli studenti iscritti all'istruzione terziaria, in particolare ai programmi di ciclo breve a indirizzo professionalizzante per un accesso più facile al mondo del lavoro.

I dati relativi al nostro Paese mostrano che la spesa per l'istruzione è diminuita significativamente dal 2008 al 2014, sull'onda anche della crisi economica degli ultimi anni. Nel 2013 la spesa totale, pubblica e privata, per l'istruzione è stata tra le più basse degli Stati presi in esame, ossia pari al 4% del PIL rispetto a una media OCSE del 5,2%. Nel 2014 inoltre l'Italia registrava la più alta percentuale di ultracinquantenni rispetto a tutti gli altri Paesi esaminati.

Dalla lettura dei dati, disponibili sull'anagrafe dell'edilizia scolastica, emerge una situazione dell'edilizia scolastica difficile, sulla quale è necessario intervenire. Un dato evidente riguarda il periodo di costruzione degli edifici, secondo cui il

4% di essi è stato costruito prima del 1900 ed il 44% in un periodo che va dal 1961 al 1980; ciò incide su vari aspetti quali: il rischio sismico, l'obsolescenza degli spazi e la difficoltà di introdurre le nuove tecnologie. In quegli anni infatti i criteri di costruzione degli edifici erano scarsamente influenzati da una "cultura antisismica" che solo recentemente è andata consolidandosi in Italia. A preoccupare sono anche gli spazi fisici, ormai obsoleti ed inadeguati ad ospitare un sempre più crescente numero di alunni per classi. Lo sviluppo della tecnologia, che si sta diffondendo in questi anni per integrare la didattica, si scontra da una parte con aule che spesso non è possibile attrezzare in modo multimediale, dall'altra con una maggioranza di insegnanti impreparati e non formati all'utilizzo di questi strumenti, che risultano utili al fine di migliorare l'efficacia dell'insegnamento e la trasmissione di conoscenza verso gli studenti.

### 3.1.2 La scuola in europa

La rete *Eurydice* fornisce informazioni e analisi sui sistemi educativi europei e sulle politiche in materia di istruzione e formazione, rivolgendosi principalmente ai decisori politici. Nata nel 1980 su iniziativa della Commissione europea, la rete è composta da un'Unità europea con sede a Bruxelles e da varie Unità nazionali. Dal 1985, l'Indire è sede dell'Unità nazionale italiana.

Rivolgendo l'analisi su scala europea il rapporto pubblicato dalla rete Eurydice "The Structure of the European Education

Systems 2015/2016 Schematic Diagrams" risponde a tutte le domande legate all'organizzazione dei sistemi d'istruzione. Questo strumento ci permette di comprendere i differenti modelli di organizzazione. La pubblicazione offre una panoramica aggiornata all'anno scolastico/accademico 2016-2017.

Ogni paese organizza il proprio sistema educativo nazionale secondo livelli di istruzione. I livelli di istruzione di cui si fa riferimento sono frutto dello standard ISCED 97:

- Livello 0 - Istruzione pre-elementare - Pre-primary education
- Livello 1 - Istruzione primaria - Primary education or first stage of basic education
- Livello 2 - Istruzione secondaria inferiore - Lower secondary or second stage of basic education
- Livello 3 - Istruzione secondaria superiore - (Upper) secondary education
- Livello 4 - Istruzione post-secondaria non terziaria - Post-secondary non-tertiary education
- Livello 5 - Primo stadio dell'educazione terziaria - First stage of tertiary education
- Livello 6 - Secondo stadio dell'istruzione terziaria - Second stage of tertiary education

La prima sezione del rapporto presenta i principali modelli organizzativi esistenti a livello pre-primario e a livello di istruzione obbligatoria. Per quanto riguarda l'organizzazione della pre-primaria si distingue in due principali strutture: una percorso unitario (da 0 a 6 anni) che precede la scuola dell'obbligo e

uno che prevede la suddivisione, come in Italia, tra asilo nido e scuola dell'infanzia.

Anche l'istruzione obbligatoria fino ai 12-13 anni viene erogata seguendo un percorso unico (come fanno a esempio i Paesi scandinavi e i Paesi balcanici) oppure suddividendola in segmenti formativi distinti che prevedono un programma di base comune per tutti gli studenti, cosa che avviene nella maggior parte dei Paesi.

Per avere un'idea buona panoramica anche a livello globale si possono considerare i risultati OCSE sullo stato dell'istruzione a livello mondiale: "Education at a Glance/Régards sur l'éducation 2016", che analizza i sistemi educativi dei 35 Paesi membri, oltre ad Argentina, Brasile, Cina, Colombia, Costa Rica, India, Indonesia, Lituania, Federazione russa, Arabia Saudita e Sudafrica. Il rapporto OCSE aiuta a capire quali siano i sistemi educativi al mondo più apprezzabili secondo diversi punti di vista, con uno studio mirato ad evidenziare la qualità ed il rendimento scolastico. Nell'edizione 2016 si misurano gli sforzi fatti dai vari Paesi per garantire a tutti un'istruzione inclusiva e di qualità. Nonostante ciò, i risultati che emergono, non sono incoraggianti. Dei 35 Paesi esaminati, solo 12 raggiungono il livello richiesto in almeno 5 dei 10 obiettivi di sviluppo sostenibile per l'istruzione da raggiungere entro il 2030, e solo 6 dei 22 Stati membri dell'Unione (Austria, Belgio, Danimarca, Estonia, Finlandia, Francia, Germania, Grecia, Irlanda, Italia, Lettonia, Lussemburgo, Paesi Bassi, Polonia, Portogallo, Repubblica ceca, Repubblica slovacca, Regno Unito, Slovenia,

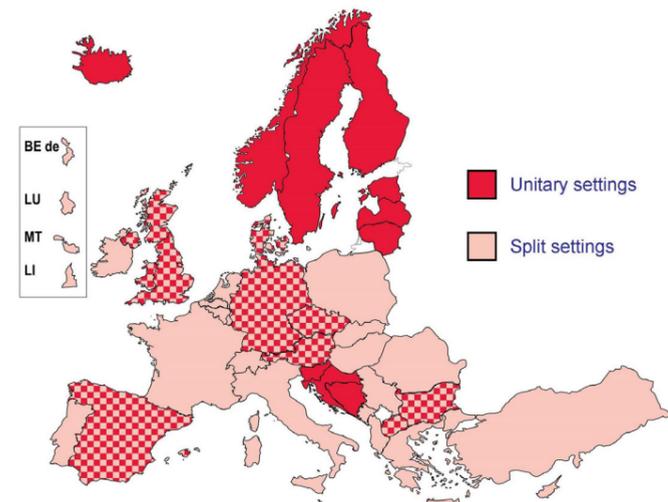


FIG. 3.1.3 Organizzazione della scuola pre-primaria in Europa - 2016/2017

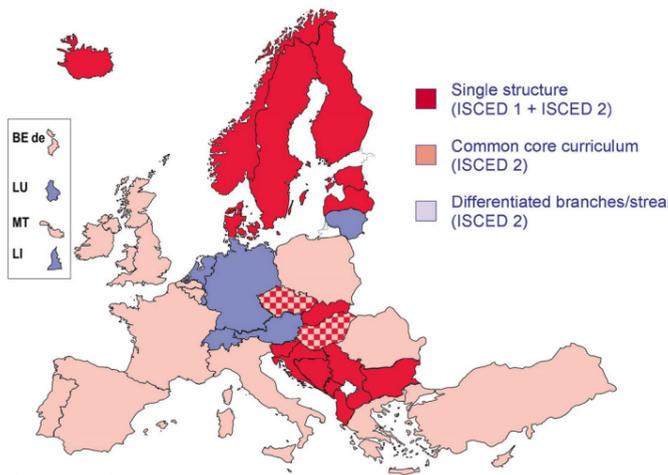


FIG. 3.1.4 Organizzazione della scuola dell'obbligo in Europa - 2016-2017

Spagna, Svezia e Ungheria). L'Australia e il Canada sono i Paesi che vantano i risultati migliori per l'insieme degli obiettivi stabiliti, seguiti dai Paesi Bassi e dal Belgio. Un'istruzione efficace, efficiente e inclusiva di tutte le diversità resta ancora una grande sfida per molti Paesi, compreso il nostro.

Parlando di spesa per le istituzioni del settore dell'istruzione in percentuale del Prodotto Interno Lordo i seguenti diagrammi evidenziano le differenze tra le varie nazioni per livello di istruzione e fonte di finanziamento.

### 3.1.2.1 Finlandia

Tra gli stati europei a posizionarsi tra i migliori è il sistema finlandese. Da tempo il sistema didattico della Finlandia è oggetto di ammirazione da parte delle altre nazioni. Il percorso di studi è articolato su tre livelli: scuola obbligatoria, secondaria

e formazione universitaria.

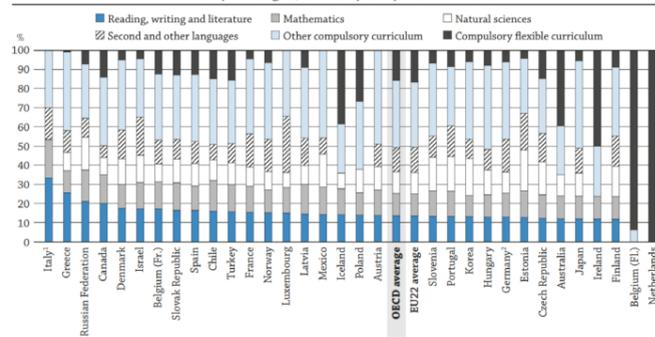
La partecipazione all'istruzione prescolare è volontaria ed è organizzata presso centri diurni di assistenza (analoghi ai nostri asili comunali) ed istituti comprensivi nell'anno precedente l'inizio della scuola. L'obiettivo è quello di creare un ambiente di gioco e apprendimento che permetta ai bambini di sviluppare un equilibrio globale tra mente e corpo.

La scuola obbligatoria (Peruskoulu) dura 9 anni, con obbligo di frequenza. Inizia a 7 anni e termina a 15/16 anni. Essa equivale a scuola elementare, media più biennio superiore italiani. È gratuita (libri, mensa, rate scolastiche e sistema sanitario sono pagati dall'Amministrazione pubblica). Il Peruskoulu è suddiviso in due cicli: ciclo inferiore (dalla prima alla sesta classe) e ciclo superiore (dalla settima alla nona), strutturati in modo da costituire un insieme omogeneo per contenuti ed attività. Gli istituti comprensivi forniscono un'istruzione generale di base, a completamento della quale gli allievi possono proseguire gli studi negli istituti secondari oppure fare il loro ingresso nel mondo del lavoro. Le materie della scuola di base sono: lingua madre e letteratura (finlandese o svedese), l'altra lingua nazionale (finlandese o svedese), lingue straniere, educazione ambientale, educazione civica, religione o etica, storia, studi sociali, matematica, fisica, chimica, biologia, geografia, educazione fisica, musica, arti figurative, artigianato/attività manuali, economia domestica.

La scuola secondaria superiore (Lukio-Gymnasium) è strutturata in moduli. In essa l'avanzamento negli studi non è legato ad

FIG. 3.1.5 Tempi dedicati ai vari insegnamenti - OCSE 2016

Figure D1.2b. Instruction time per subject in general lower secondary education (2016) As a percentage of total compulsory instruction time



1. Natural sciences included in mathematics.  
2. Year of reference 2015.  
Countries and economies are ranked in descending order of the proportion of instruction hours devoted to reading, writing and literature.

annualità predefinite ma sono gli allievi a scegliere quando seguire i corsi. Tutti gli studenti devono completare i corsi obbligatori: la madre lingua, letteratura, l'altra lingua nazionale, le lingue straniere, matematica, scienze naturali, scienze umane e sociali, religione o etica, educazione fisica e della salute, arte. Come materie supplementari, le scuole devono provvedere a corsi di specializzazione per gli studenti che li scelgono. Al termine è previsto un esame finale, chiamato Ylioppilastutinto, necessario per l'iscrizione agli studi universitari.

### 3.1.2.2 Paesi Bassi

Altro sistema con un'elevata considerazione è quello dei Paesi Bassi. Il sistema scolastico nazionale ha come riferimento il modello germanico, basato su un orientamento precoce teso a favorire l'inserimento sociale e professionale dei ragazzi. L'istruzione olandese ha molti aspetti di similarità con quella scandinava e prevede un'educazione obbligatoria multilivello di 12 anni, dai 5 ai 17 anni di età. Grande rilievo è dato al profilo internazionale, come si evince dal largo uso della lingua inglese nei documenti ufficiali. Nei Paesi Bassi l'istruzione obbligatoria (leerplicht) è di 12 anni, dai 5 (ma molti bambini iniziano a 4 anni) ai 16-17 anni d'età. Ad ogni livello si superano test di adempimento scolastico, somministrati dal Cito (Istituto Nazionale Olandese per l'Ideazione e lo Sviluppo di Test Scolastici). L'esito di queste prove contribuisce per il 50% al voto finale di ogni materia. Superando l'esame, si ottiene un diploma che consente l'accesso al grado d'istruzione successivo.

Il sistema olandese si articola in: Scuola Primaria-elementare (Basisonderwijs oppure Bao, sbao), Scuola Secondaria-superiore (Voortgezet onderwijs) o in alternativa studi professionali, istruzione superiore (universitaria o professionale superiore).

L'istruzione primaria nei Paesi Bassi va dai 4 ai 12 anni. A partire dal 1985-86 la normativa olandese ha previsto l'unificazione fra scuola materna e scuola elementare. Nel caso, però, che un bimbo di 4 o 5 anni non frequenti la scuola primaria può essere iscritto presso centri atti a sviluppare le capacità cognitive, emotive e sociali mediante il gioco. Esistono inoltre le "ludoteche", aperte per tre giorni la settimana e frequentate da piccoli tra i 2 e i 4 anni, ed i "centri diurni", aperti tutta la settimana e che accolgono i bambini che hanno dalle 6 settimane di età fino ai 4-5 anni.

Scuola elementare (Basisonderwijs). Accoglie gli allievi fra i 4 ed i 12 anni, con 8 anni consecutivi di istruzione. La scuola primaria e elementare, detta comunemente Bao, prevede 8 livelli, dal Groep 1 sino al Groep 8. L'obbligatorietà scolastica olandese inizia dal secondo livello, dunque all'età di 5 anni. Gli insegnamenti si basano su dei livelli di Groep, come scrivere e leggere, o, più avanti, con l'apprendimento di una lingua straniera, di solito l'inglese (negli istituti della Frisia si insegna anche il frisone). Materie base sono: lingua madre, seconda lingua, matematica, orientamento su esseri umani e mondo, educazione fisica e orientamento artistico.

Successivamente gli studenti sono avviati ai vari rami dell'istruzione secondaria in preparazione dell'istruzione

preuniversitaria (VWO: fino a 18 anni; all'incirca paragonabile al liceo italiano), dell'istruzione secondaria generale avanzata (HAVO: fino a 17 anni; anche questa paragonabile al liceo, ma a livello un po' inferiore) e infine dell'istruzione secondaria pre-vocazionale (VMBO: fino a 16 anni; paragonabile più o meno all'istruzione professionale).

### 3.1.2.3 Regno Unito

Anche il regno unito gode di buona fama, ma bisogna considerare che il prestigio di cui l'istruzione "made in United Kingdom" gode nel mondo è legato in massima parte alla reputazione di alcune scuole private. In realtà, solo il 7% dei ragazzi frequenta gli istituti elitari come la Harrow School e la Rugby School, mentre la restante percentuale si rivolge alle scuole statali ("State Schools").

Le scuole dell'infanzia (pre-school) sono del tutto facoltative, sono frequentate dai bimbi fra i 2 ed 5 anni. Due le possibilità a disposizione dei genitori: scuole materne pubbliche (Nursery Schools), spesso annesse alle stesse scuole primarie, e scuole materne private, gestite da gruppi di volontari, da istituti di beneficenza o dagli stessi genitori (in questo caso si parla spesso di Play Schools). In questa prima tappa educativa l'apprendimento è raggiunto tramite esperienze ludiche di gruppo, attività creative e gioco guidato.

La scuola elementare (primary school) copre la fascia d'età dai 4/5 agli 11 anni ed è articolata in una prima fase "infant" (5-7 anni) ed una seconda "junior" (7-11 anni). Infant e junior

schools sono normalmente frequentate nella stessa scuola, ma possono svolte anche in due istituti diversi. Il passaggio dall'istruzione primaria alla secondaria avviene di norma all'età di 11 anni senza dover sostenere esami, poiché, in seguito allo Standard Assessment Task (SAT) introdotto dal National Curriculum, gli studenti sono valutati durante tre stadi dell'iter scolastico (sette, undici e quattordici anni).

Segue la scuola secondaria (Secondary Education): è frequentata dagli 11 ai 16 anni d'età. Gli alunni possono, se previsto, visitare la scuola a cui intendono iscriversi, in modo da poter stabilire i primi contatti con il nuovo ambiente. Non esiste più il sistema di selezione che distribuiva gli alunni alla scuola secondaria sulla base dei loro rendimenti, se non per l'accesso alle Grammar Schools. Le scuole superiori inglesi offrono grande possibilità di scelta dei corsi da seguire. Oltre ai corsi obbligatori quali lingua Inglese, Letteratura, Storia e Matematica, gli studenti possono completare il proprio piano di studi con le materie di interesse personale. L'obbligo è assolto a 16 anni (dal 2008 a 17 anni per i ragazzi inglesi), ma molti proseguono gli studi: in Inghilterra, Galles e Scozia circa il 90% degli allievi di scuole pubbliche (state schools) frequentano comprehensive schools per allievi di età compresa tra gli 11 e i 18 anni (12-18 in Scozia).

Una nuova tendenza che sta prendendo piede nel Regno Unito è rappresentata da un nuovo modello di istituto scolastico, la "through-school" dove gli studenti frequentano lo stesso istituto dall'età di 3 anni, fino al diploma di maturità.

## 3.2 LO SPAZIO EDUCATIVO

### 3.2.1 Pedagogia e architettura

#### 3.2.1.1 Brevi cenni storici

Nel corso del '900 l'ordinamento scolastico europeo ha subito numerosi cambiamenti. Dallo sviluppo tecnologico apportato dalla rivoluzione industriale, le due guerre mondiali e i riassetto territoriali e culturali che hanno trasformato l'Europa ed hanno definito i confini geopolitici del mondo attuale, lo sviluppo della società in questo secolo è stato strepitoso. Filosofi, psicologi ed architetti hanno trovato qui un ricco terreno di studio per rispondere ai continui mutamenti delle nuove esigenze.

Per molti edifici scolastici del secolo scorso è possibile analizzarne la qualità in tre categorie in funzione dell'approccio progettuale e del contesto storico che li ha generati.

FIG. 3.2.1  
Italia - classe  
di regime  
fascista 1938



La prima comprende gli edifici progettati sulla base di un programma di sviluppo e diffusione del sistema scolastico in cui gli spazi destinati alle attività rappresentano il risultato di un approccio progettuale rigorosamente aderente al quadro normativo di riferimento dove ogni luogo è in aderenza con la singola funzione che in esso si deve svolgere. Il ruolo del progettista è limitato agli standard normativi a cui ci si attiene e l'architettura non fornisce un'opportunità di apprendimento ma, nascendo da esigente di ordine e razionalizzazione degli spazi, tipiche del mondo adulto, lo limita.

La seconda categoria comprende edifici in cui gli spazi sono stati concepiti ed adattati con il fine di perseguire linee pedagogiche innovative. Uno dei pionieri nei primi del '900 è Edward Francis O'Neill che abbatte per primo una serie di convinzioni che



FIG. 3.2.2  
Inghilterra -  
"learning by  
doing" 1920

pongono la disciplina al primo piano. Secondo la sua teoria della scuola "learning by doing" l'alunno apprende attraverso la pratica ed, elemento fondamentale del suo principio di formazione, è la libertà di sperimentazione e esercitazione del talento individuale di ogni singolo. L'apertura extrascolastica dell'edificio alla comunità consente inoltre agli stessi alunni oltre che ai cittadini di partecipare ad attività extra-curricolari e sociali.

La terza categoria è costituita infine da edifici progettati da architetti che hanno lasciato che le proprie esperienze infantili influenzassero in maniera soggettiva la loro architettura. Si tratta di scuole che nascono dalle esperienze conoscitive sviluppate durante il periodo dell'infanzia e riconosciute come fonte di piacere. Le scelte architettoniche non rispondono solo a criteri di estetica ma creano interazione e sinergia fra pedagogia e modelli spaziali esercitando una vera e propria azione educativa. Ci sono alcuni esempi di interazione e sinergia fra pedagogia e Architettura che si sono diffusi nell'ultimo

FIG. 3.2.3  
USA - scuola  
montessorian



FIG. 3.2.4  
Germania -  
scuola  
steineriana

secolo in Italia e soprattutto fuori dal nostro Paese nel mondo; tra questi sicuramente la scuola montessoriana 1907 e la scuola steineriana 1919 che conferiscono molta importanza all'ambiente in cui avviene l'apprendimento considerato in grado di interagire in modo evidente sulla crescita psicofisica degli allievi. Steiner in particolare, nella propria teoria, evidenzia la strumentalità dell'ambiente scolastico rispetto al processo educativo stesso attraverso la percezione sensoriale che si può ritrovare in forme e colori presenti e riconoscibili in natura.

Oggi gli studi ci dicono che i bambini percepiscono lo spazio in modo critico e orientano la loro capacità di apprendimento a seconda che siano positivamente o negativamente stimolati dal contesto spaziale e ambientale che li circonda. Luce, colori, materiali, qualità delle condizioni ambientali e flessibilità degli ambienti sono elementi fondamentali da tenere in considerazione nella progettazione di un edificio scolastico e verranno trattati nel corso del Capitolo e concretizzati poi nel progetto.

### 3.2.1.2 Il ruolo della scuola nella società attuale

*La scuola, oggi soprattutto, deve avere il compito di testimoniare la coscienza civile di un paese. Una buona scuola, anche dal punto di vista della cultura architettonica, è valida se sa risolvere i problemi e rispondere alle attese più che fornire spazi tecnici. La scuola palesa tutta la sua arretratezza, le sue rughe quando si accontenta di sopravvivere dentro forme precarie e discutibili, piuttosto che mirare a soluzioni tendenti a promuovere le migliori aspettative" (M. Botta, in M. Botta, P. Crepet, G. Zois, Dove abitano le emozioni, Einaudi, Torino, 2007).*

In un momento storico come quello attuale in cui in Italia come in altri contesti Europei sussistono situazioni di crisi e disagio sociale, alla scuola viene attribuito un importante compito; alla funzione di luogo dell'apprendimento si affianca anche quella di luogo di educazione alla vita.

Riferendoci alla situazione italiana in particolare, il quadro d'insieme generale non è rassicurante. La scuola non può restare esclusa dai processi evolutivi che investono l'epoca contemporanea e, per ritrovare una sua precisa funzione,

FIG. 3.2.5  
Scuola-civic  
center 4HET  
GYMNASIUM  
Amsterdam



FIG. 3.2.6  
4HET  
GYMNASIUM  
Amsterdam  
- spazi per la  
comunità

tutto il sistema scolastico ha bisogno di un radicale intervento riformatore. Oltre che investire in programmi e ordinamenti è lecito domandarsi se sia necessario anche ripensare agli edifici scolastici, alla loro funzione e al vero ruolo che le si attribuisce. Da questa esigenza di rinnovamento si può ipotizzare un prossimo mutamento dell'intero sistema formativo. Se il passaggio dalla società preindustriale a quella industriale è stato segnato dalla transizione da un sistema formativo centrato sulla famiglia ad un sistema incentrato sulla scuola, il consolidamento oggi della società postindustriale segnerà una nuova definizione e pianificazione dell'organismo scuola. Il crescente processo di eterogeneità sociale tenderà ad una configurazione policentrica del sistema formativo. Al suo interno infatti, oltre alla scuola vera e propria, saranno presenti diversi altri poli da valorizzare, a condizione che sappiano collocarsi nel loro insieme in una prospettiva flessibile e sinergica.

Partendo da questo concetto di sinergia tra scuola e società si può identificare la vera funzione formativa del percorso di crescita di un individuo e concretizzare la logica della progettazione architettonica. Una scuola che sia aperta alla società è una scuola senza barriere imposte dall'età; un centro polifunzionale che sia in grado di offrire servizi a tutti i suoi users e che sia aperta anche dopo gli orari della didattica per favorire l'interagire e la comunicazione tra le parti sociali. Un luogo dunque di reciproco scambio che possa contribuire all'affermazione di un'identità individuale e allo stesso tempo alla costruzione di un'identità comunitaria.

## 3.2.2 Spazi per l'apprendimento

### 3.2.2.1 Tipologie edilizie scolastiche

Gli edifici scolastici possono essere suddivisi in tipologie attraverso una schematizzazione delle funzioni. Ogni modello distributivo che rappresenta le differenti configurazioni architettoniche è costruito partendo dal rapporto tra l'aula, intesa come lo spazio specifico dell'insegnamento, e gli spazi accessori della struttura scolastica.

I modelli distributivi principali sono due e nascono in epoche diverse: lo schema a corridoio e lo schema a unità funzionali, che generano a loro volta diverse tipologie.

### SCHEMA A CORRIDOIO

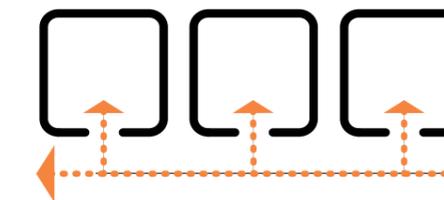


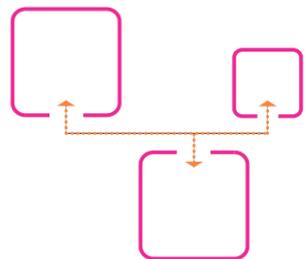
FIG. 3.2.7  
Schema  
funzionale  
di scuola a  
corridoio

Lo schema a corridoio è la tipologia più ricorrente nella tradizione italiana della prima metà del XX secolo e deriva dall'esperienza delle scuole razionaliste e dalla traduzione in architettura dei principi rigidamente autoritari del periodo fascista. Lo schema è caratterizzato dalla successione di aule contigue collegate tra loro da corridoi lineari. Proprio per l'incalzante e indifferenziata successione degli spazi destinati alla didattica e per l'austerità dei collegamenti e delle forme, lo schema a corridoio è stato assimilato all'immagine di scuola "caserma". Tale distribuzione privilegia lo spazio dell'aula che coincide con l'unico spazio pedagogico riconosciuto come tale, ponendo in posizione secondaria gli spazi di socializzazione tra le classi, relegati ai corridoi di servizio.

### SCHEMA A UNITÀ FUNZIONALI

La ricostruzione del secondo dopoguerra e lo sviluppo socio-economico lasciano spazio alla sperimentazione e alla creazione di nuovi spazi; nasce così lo schema a unità funzionali. Il nuovo modello organizzativo rivoluziona completamente il modo di vedere l'architettura scolastica e definisce un nuovo

FIG. 3.2.8  
Schema  
funzionale di  
scuola a unità  
funzionali



approccio alla progettazione, non più caratterizzato da uno schema rigido e razionale lungo dei meri spazi di flusso, ma generato da nuclei di base che, combinati tra loro, creano situazioni sempre diverse, ponendo l'alunno al centro del sistema.

L'unità funzionale si presenta come spazio complesso, strutturato in più parti, che raggruppa funzioni complementari tra loro, ma che trova una propria identità e indipendenza all'interno della struttura scolastica in cui si colloca, identificandosi quale nucleo generatore di base.

#### SCUOLA A BLOCCO

La scuola a blocco nasce dallo sviluppo dello schema a corridoio, mettendo a sistema più aule contigue mediante collegamenti lineari delle dimensioni strettamente necessarie alla comunicazione tra le aule stesse.

Generalmente l'edificio si pone come naturale proseguimento dell'ambiente urbano; le aule si affacciano verso la strada di accesso principale e il corridoio di collegamento è posto sul retro mentre, di solito, gli spazi di servizio si trovano agli estremi

dell'edificio.

La conformazione della scuola a blocco garantisce l'opportunità alle persone di fruire degli spazi collettivi, aprendo la struttura alla comunità cittadina e permettendo il prolungamento dell'utilizzo del complesso o di parti di esso al di fuori dell'orario scolastico.

I principi ed i metodi educativi tradizionale cominciarono ad essere messi in discussione da una corrente pedagogica che prende il nome di attivismo e che si basa sul mettere l'allievo al centro del processo educativo. L'educazione dell'individuo avviene attraverso la psicologia e la scoperta della propria personalità; la socialità viene considerata il nodo centrale dell'educazione e la socialità scaturisce dalla collaborazione, dal lavoro di gruppo.

Questa filosofia educativa introduce nuovi metodi di insegnamento che necessitano una differente organizzazione degli spazi e degli interi complessi scolastici oltre che un cambiamento delle dotazioni e degli arredi scolastici.

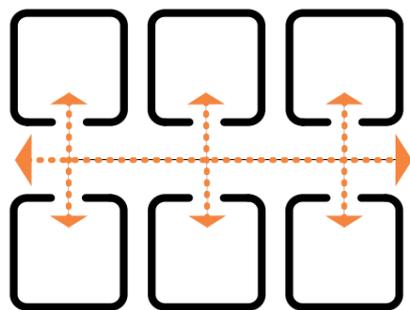
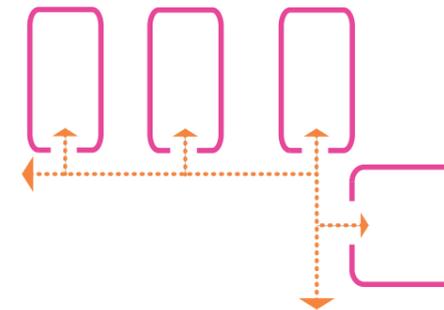


FIG. 3.2.9  
Schema  
funzionale di scuola a  
blocchi

#### SCUOLA ALL'APERTO O ESTENSIVA

FIG. 3.2.9  
Schema  
funzionale di scuola  
all'aperto



La tendenza di ampliare la scuola verso gli spazi esterni e l'idea di un'organizzazione didattica basata sulla percezione ambientale, porta all'infrazione dagli schemi razionalisti tradizionali e la concretizzazione della scuola all'aperto o estensiva.

Nelle scuole sviluppatesi dallo schema razionalista aula-corridoio, il rapporto con l'esterno è un elemento sempre presente e percettibile dall'interno della scuola, l'edificio si diffonde negli spazi verdi e per questo la scuola è prevalentemente a un solo piano che risulta quasi completamente vetrato.

Questa tipologia si sviluppa seguendo un andamento lineare e orizzontale dei corpi e gli schemi compositivi più diffusi sono: lo schema a croce e lo schema a pettine.

Per il primo si tratta di una configurazione spaziale incentrata su un corpo centrale da cui dipartono dei bracci indipendenti relazionati fra loro soltanto dagli spazi esterni mentre, per il secondo, da un elemento lineare principale si attaccano altri corpi destinati alle varie funzioni.

Concetti fondamentali come la ripetibilità di blocchi base, introducono l'idea dell'adattabilità dell'edificio scolastico e della sua costante e crescente crescita nel tempo, concetti base della sperimentazione degli anni '60 della prefabbricazione.

In Italia un altro esempio di tipo edilizio con sviluppo all'aperto, è la scuola a padiglione, composta da un nucleo centrale autosufficiente che ospita le attività comuni a cui sono collegate le aule e i relativi servizi. L'apertura della scuola verso l'esterno e verso la natura in questo caso, può essere letta metaforicamente come la liberazione dal regime fascista.

#### SCUOLA A PIASTRA

Il tipo a piastra raccoglie al suo interno tutte le funzioni collegate alle attività didattiche della scuola, funzioni che prima (nel tipo a blocco) erano confinate all'esterno in padiglioni o blocchi separati (palestra, piscina, teatro, laboratori ecc.), uniti al corpo principale attraverso collegamenti coperti.

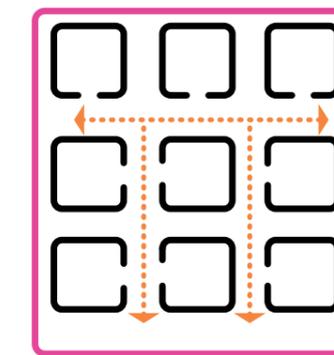
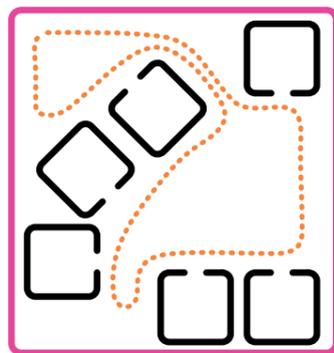


FIG. 3.2.10  
Schema  
funzionale di scuola  
all'aperto

FIG. 3.2.11  
Schema  
funzionale di  
scuola open  
plan



L'impianto distributivo può essere sia del tipo aula-corridoio, con collegamenti interni che raggiungono tutti gli spazi, sia del tipo a unità funzionali raggruppate sotto la stessa copertura e in cui i passaggi diventano la spina centrale di collegamento. Le scuole a piastra sono caratterizzate generalmente dallo sviluppo planimetrico su uno o due piani e presentano notevoli dimensioni.

Al fine di migliorare le condizioni di illuminazione degli spazi più interni, il tipo edilizio si è evoluto nel più articolato tipo a piastra con vuoto interno, in cui sono presenti dei cortili che racchiudono spazi di pertinenza della scuola e che permettono l'ingresso della luce attraverso normali vetrate mantenendo, al tempo stesso, la continuità visiva con l'ambiente esterno.

#### OPEN PLAN

L'obiettivo principale della tipologia Open plan è ottenere un consistente risparmio di spazio interno attraverso l'eliminazione

degli spazi connettivi (corridoi) attraverso una successione di ambienti indifferenziati destinati alla didattica, separati tra loro da pareti mobili attrezzate o da arredi funzionali. La presenza di elementi non fissi, rende lo spazio interno estremamente flessibile, dando la possibilità di modificare gli spazi in base all'attività che devono ospitare e al programma pedagogico.

#### SCUOLA STRADA

All'interno dei complessi scolastici particolarmente articolati dal punto di vista della varietà e diversità degli spazi.

L'edificio scolastico viene percepito come una città in cui le diverse aule sono associate agli edifici e gli spazi pubblici agli spazi connettivi alle strade di collegamento. Nasce così l'idea di scuola-strada, in cui l'impianto distributivo si sviluppa rispetto a un asse principale di collegamento (corridoio) sul quale si attesta il susseguirsi degli spazi specialistici.

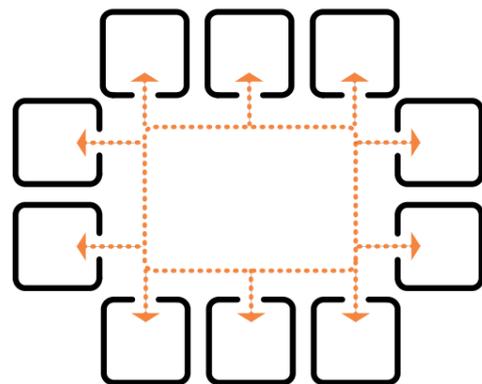


FIG. 3.2.12  
Schema  
funzionale di  
scuola strada

#### 3.2.2.2 La nuova scuola

Nella Scuola del terzo millennio la sequenzialità di momenti didattici diversificati richiede configurazioni spaziali innovative ed un'idea di edificio scolastico che sia in grado di garantire l'integrazione, la complementarietà e l'interoperabilità dei suoi spazi. La centralità dell'aula, inteso come elemento unitario di base e punto di partenza per la progettazione, viene superata nelle *Scuole senza aule*. Lo spazio viene concepito qui come un contenitore di varie attività che possono essere raggruppate in base ai disturbi che producono sulle varie attività ambientali con cui entrano in relazione, in modo che ad ogni spazio non corrisponda rigidamente una funzione, ma si creino luoghi in cui svolgere attività omogenee discriminate dalla sola componente della contemporaneità. È infatti attraverso il processo di smaterializzazione delle barriere interne all'edificio che si crea uno spazio comune per le varie attività didattiche improntate oltre che all'apprendimento tradizionale, alla sperimentazione e alla creazione in atelier e laboratori. La vera potenzialità di questo schema trova i propri fondamenti nella definizione di processo creativo che paradossalmente racchiude i concetti contrastanti di disordine e ordine oltre che di metodo e irregolarità.

Gli spazi vengono interpretati come un unico integrato in cui i microambienti finalizzati alle varie attività diversificate, hanno la stessa dignità e presentano caratteri di abitabilità, flessibilità e funzionalità in grado di accogliere persone e attività in ogni momento. I corridoi diventano delle aree per attività informali

senza prescindere la presenza di aree per le attività individuali. Anche mense e cucine in questi modelli vengono integrate con l'attività formativa attraverso una flessibilità che consenta di sviluppare da degli spazi di servizio dei luoghi per la didattica e l'educazione alimentare.

Non da meno in questi modelli è l'attenzione alla città e alla comunità attraverso l'inclusione un'offerta di attrezzature e servizi per il territorio come auditorium, biblioteche, centri per società culturali e sportive, negozi e librerie, il tutto connesso ad una maglia di trasporti pubblici sicuri ed efficienti oltre che alle piste ciclabili che dovrebbe essere presenti sul territorio al pari delle strade carrabili.

Negli edifici di pubblica utilità, la distribuzione spaziale delle funzioni che in essi si svolgono deve poter essere risolta senza trascurare le esigenze dei vari gruppi di utenza che vi si avvicenderanno nel tempo e deve contenere quei caratteri di flessibilità che ne garantiscono il buon funzionamento nel tempo.



FIG. 3.2.13  
Confronto tra  
un'aula di ieri  
e un'aula oggi

### 3.2.2.4 Modello Indire "1+4"

Come già detto nei paragrafi precedenti lo spazio partecipa attivamente alle tecniche di apprendimento e condiziona le loro dinamiche.

Una concreta analisi sull'evoluzione degli spazi dell'apprendimento è stata condotta da Indire - *Istituto Nazionale Documentazione Innovazione Ricerca Educazione* – che oltre a tematiche di natura didattica, pone l'accento sull'ambiente di apprendimento sotto aspetti diversi ma complementari: l'aspetto del benessere e della qualità della vita degli studenti e la cura del senso estetico.

Attraverso l'analisi e lo studio di casi di eccellenza europea e delle politiche educative volte a promuovere spazi educativi innovativi, il gruppo di ricerca ha sviluppato e formulato il modello degli *1+4 spazi educativi* che è diventato un vero e proprio manifesto per gli spazi educativi di nuova generazione.

*1* è lo spazio di gruppo, l'ambiente di apprendimento

FIG. 3.2.14  
Manifesto  
1+4 SPAZI  
EDUCATIVI



polifunzionale del gruppo-classe, ovvero la sintesi evolutiva dell'aula tradizionale che, aprendosi alla scuola e al mondo, si trasforma in un ambiente a spazi flessibili in continuità con gli altri ambienti della scuola.

*4* sono gli spazi della scuola complementari, e non più subordinati, agli ambienti della didattica quotidiana. Sono l'Agorà, lo spazio informale, l'area individuale e l'area per l'esplorazione.

#### LA CLASSE, SPAZIO DI GRUPPO

Condivisione, discussione, collaborazione.

Un ambiente dove alla tradizionale didattica frontale si affianca uno spazio per valorizzare le competenze relazionali dello studente e stimolare la sua socializzazione. Gli studenti interagiscono in questo ambiente collaborando al raggiungimento di un obiettivo comune ovvero la produzione di nuova conoscenza. Lo spazio fisico della classe collaborativa



FIG. 3.2.15  
La classe,  
unità polifun-  
zionale per  
il lavoro di  
gruppo

FIG. 3.2.16  
I laboratori,  
spazi di esplora-  
zione



è predisposto ad avere un assetto facilmente modificabile, reso possibile grazie all'arredo oltre che allo stesso spazio in grado di accogliere, di volta in volta, le attrezzature e gli strumenti che creano i differenti contesti di esperienza.

#### LO SPAZIO DI ESPLORAZIONE

Manipolazione, laboratorio, esplorazione.

Questo è uno spazio diverso rispetto all'aula che si caratterizza per la presenza di strumentalità specialistiche legata alle differenti discipline. Si tratta dello *spazio del fare* ovvero un luogo pensato per favorire una metodologia didattica centrata sull'operatività e sull'imparare facendo. Il docente qui diviene una sorta di mediatore della conoscenza che opera in un ambiente in cui gli studenti, simultaneamente o in piccoli gruppi, apprendono grazie al coinvolgimento attivo, all'attività di investigazione, all'esplorazione, all'ideazione e alla realizzazione di prodotti.

#### L'AGORÀ

Presentazione, ascolto, esposizione, visione.

Spazio in cui condividere eventi o presentazioni in modalità plenaria a gruppi allargati di altri alunni e anche a docenti e genitori. Sono molte le attività che possono essere svolte in questo ambiente oltre alla presentazione dei lavori, si possono creare occasioni di condivisione con esperti esterni o altri soggetti in grado di fornire un contributo su temi specifici di approfondimento.

#### LO SPAZIO INDIVIDUALE

Personale, individuo, ricerca.

Questo è l'ambiente in cui lo studente sviluppa un personale percorso di apprendimento in sintonia con i propri tempi e ritmi, con le proprie attitudini e propensioni. Lo spazio individuale non è soltanto spazio fisico, ma anche virtuale.



FIG. 3.2.18  
Lo spazio  
per il lavoro  
individuale



FIG. 3.2.17  
L'agorà, uno spazio per  
l'esposizione e il confronto

È per lo studente una “casa nella scuola” a lui riservata, uno spazio in cui egli può studiare, lavorare, organizzare le proprie attività, riordinare le idee utilizzando uno smartphone o un tablet oppure utilizzare in maniera individuale la dotazione tecnologica messa a disposizione dalla scuola.

#### LO SPAZIO INFORMALE

Pausa, riflessione, lettura.

E' l'ambiente dedicato ad attività non strutturate, senza orari, che possono avere luogo in punti diversi. È il luogo per l'apprendimento informale, non intenzionale e privo di obiettivi in termini di risultati. L'ambiente è concepito per favorire la condivisione delle informazioni con gli altri e per stimolare lo sviluppo delle capacità comunicative. Le attività che gli studenti svolgono in questo spazio durante le proprie pause non possono essere definite in maniera preventiva. Questo spazio deve offrire sedute confortevoli e arredi soffici (divani, poltrone, cuscini, tappeti, pouf, ecc.) poiché molte delle attività che questa tipologia di ambiente deve accogliere sono statiche.

FIG. 3.2.19  
Lo spazio  
informale di  
riposo



## 3.2.4 Qualità dello spazio

### 3.2.4.1 Flessibilità e multifunzionalità

Il concetto di flessibilità, adattabilità e versatilità è fondamentale e irrinunciabile, in quanto tende a garantire l'adattamento di spazi ed attrezzature alle mutevoli esigenze della didattica e dei criteri pedagogici ed organizzativi. Ogni spazio necessita di requisiti di flessibilità, adattabilità e versatilità.

Le prestazioni corrispondenti, per tutti gli spazi, si possono sostanzialmente ritenere soddisfatte con:

- una *flessibilità breve*, giornaliera o addirittura oraria delle componenti spaziali primarie (aree didattiche e formative, connettivo, ecc.). Ciò può essere realizzato contestualmente attraverso un impianto distributivo modulare, dall'accorpamento anche temporaneo di spazi (ad esempio di connettivo) e dall'applicazione di alcuni accorgimenti tipici della moderna domotica;
- una *flessibilità media* adattabile a modifiche con timing più lunghi (settimanali, mensili, tri/quadrimestrali) che agiscono sulle frontiere (soprattutto i divisori interni) e sui sistemi impiantistici;
- una *flessibilità lunga* con un'adattabilità d'uso molto ampia (annuale e pluriennale) e/o una versatilità capace di ridurre al minimo gli interventi necessari sulle varie sub componenti edilizie ed impiantistiche.

FIG. 3.2.20  
Scala/palestra/  
auditorium  
dell'Orestad  
Gymnasium di  
Copenhagen



La *multifunzionalità* potenziale si deve intendere come la capacità dell'organismo architettonico di “adattarsi” ad usi, totali o parziali, diversi nel tempo; anche al fine di acquisire un “valore immobiliare” intrinseco oggi praticamente assente, con tutte le conseguenze immaginabili sul piano della “rigidità” nelle scelte programmatiche territoriali degli Enti Locali.

La destinazione d'uso iniziale dell'intervento sarà quella educativa (istruzione e/o formazione) ma prevedendo possibili modificazioni in tempi brevi/medi/lunghi, ad esempio: ostelli e residence per studenti e anziani, uffici pubblici e privati, strutture sanitarie e/o per l'accoglienza, centri per la riabilitazione o il benessere; il tutto, ovviamente, previa un'adeguata progettazione dei sistemi partizionali e impiantistici.

### 3.2.4.2 Tecnologia e apprendimento

L'innovazione tecnologica legata ai sistemi informativi, l'accesso ad internet e le telecomunicazioni sta cambiando profondamente il nostro modo di vivere e di relazionarci, e l'educazione non è un'eccezione. Social network, programmi di messaggistica istantanea ed e-mail, oltre che blog e siti web, sono diventati un modo per comunicare, socializzare e

apprendere. I giovani oggi sono in possesso di numerose tipologie di dispositivi informatici che sono entrati nella prassi comune dello stile di vita quotidiano e tra i personal device più diffusi troviamo smartphone e tablet che si vanno ad aggiungere agli ormai tradizionali personal computer. Un'utente medio è abituato a gestire un incredibile numero di applicazioni aperte contemporaneamente su di un unico dispositivo, segno di una naturale e apparente predisposizione di poter gestire più attività contemporaneamente.

Negli ultimi anni, grazie al crollo dei costi di computer e dei dispositivi elettronici, l'introduzione di una nuova offerta formativa improntata sull'utilizzo di strumenti informatici è possibile e necessaria. Grandi aziende come Apple e Samsung investono da anni nello sviluppo di programmi per la didattica e nella loro sperimentazione anche in Italia in alcune realtà scolastiche innovative.

A livello educativo l'informatica può essere utilizzata in quasi tutti i settori, dall'elaborazione di testi, alla creazione di mappe



FIG. 3.2.21  
Alcuni supporti  
informatici  
di un'aula  
tecnologica

concettuali, per realizzare animazioni, per disegnare, come supporto all'attività didattica stessa, per l'apprendimento del metodo di ricerca scientifica sulla base di prove pratiche e per l'impostazione di progetti, oltre che come strumento di ausilio all'apprendimento di studenti disabili.

Recentemente in Italia, sono stati condotti notevoli sforzi per accelerare il processo di digitalizzazione e innovazione della didattica ma, come rileva una recente analisi effettuata dall'OCSE, le iniziative ministeriali intraprese non hanno prodotto i risultati auspicati. È in risposta a questa attesa e necessaria volontà di trasformazione che occorre adottare misure efficaci capaci di portare a sistema gli interventi necessari ad un'innovazione tecnologica-educativa della scuola per costruire percorsi adeguati al tipo di società a cui gli utenti vengono preparati.

### 3.2.4.2 Sostenibilità ambientale

Se vogliamo indicare come obiettivo sociale quello della sostenibilità ambientale, è importante che le architetture degli spazi educativi diventino un simbolo di questa scelta e mettano in risalto anche rendendo visibili le soluzioni tecnologiche o comportamentali adottate. L'attenzione alla sostenibilità attraverso accorgimenti tecnici, l'impiego di materiali naturali e la tutela delle risorse ha un secondo interesse che risiede nel fatto che si vuole riconoscere un valore educativo proprio alla stessa struttura edilizia che ospita una comunità in formazione. È di rilevante importanza affrontare a scuola i



FIG. 3.2.22  
Sandal magna  
community  
primary school,  
Wakefield,  
UK

temi della sostenibilità pianificando giornalmente strategie di azioni, fornendo ai bambini, ragazzi e giovani le competenze ed il sostegno di cui hanno bisogno per meglio conoscere e controllare l'ambiente scolastico, il territorio e il mondo stesso. Il tema della sostenibilità e dell'efficienza energetica è affascinante, etico e molto complesso ed anche il MIUR con le Linee guida, al Titolo IV elenca in modo qualitativo gli impianti ponendo in evidenza gli aspetti legati al modello educativo. Si parla di flessibilità impiantistica, illuminazione, ventilazione, climatizzazione, impianto idrico ed anche di generazione dell'energia. In quest'ultimo capo, IV.26 (Generazione dell'energia), si recita: "Richiamando l'obbligo dell'utilizzo delle fonti rinnovabili negli edifici di nuova costruzione a copertura di una quota del fabbisogno di energia termica ed elettrica,

si ritiene un valore didattico in sé la progettazione sostenibile nella generazione e gestione dell'energia. Geotermia, energia eolica, cogenerazione, celle fotovoltaiche, teleriscaldamento e ogni forma di generazione dell'energia responsabile sono fattori positivi e pedagogici".

Quindi si fa molto affidamento al tema della sostenibilità e dell'efficienza energetica in questo millennio: quello che dovrebbe finalmente congiurare la tutela dell'ambiente con lo sviluppo tecnologico e cioè lo sviluppo sostenibile.

### 3.2.4.3 L'importanza del colore

Il colore è l'elemento primo nella comunicazione.

Nelle scuole e nei suoi ambienti la determinazione del colore nei vari spazi funzionali possono influenzare in modo particolarmente significativo l'andamento delle attività che in essi vengono svolte. Affinché uno spazio destinato ad attività rivolte all'infanzia raggiunga uno standard di qualità edilizia ed architettonica, la salubrità dell'aria e l'efficacia acustica non bastano a garantire il livello corretto di comfort ambientale: per garantire il benessere, infatti, un ambiente educativo e formativo ha bisogno di misurare il livello di comfort anche attraverso la percezione psicologico-sensoriale. I bambini, in particolare, hanno bisogno di un ambiente motivato e ricco di stimoli per costruire le loro conoscenze. L'aula arancio, quella verde e quella azzurra li accompagnano in una dimensione didattico-ludica che stimola la loro attività sensoriale e che li mette a loro agio.

Nella comune teoria dei colori la prima distinzione è tra tinte calde e fredde.

Alle calde appartengono il giallo, il rosso e l'arancione oltre a tutte le tinte intermedie. Sono colori attivi, positivi, vicini e sono associati all'azione, alla sonorità e al moto continuo. Le tinte fredde comprendono l'azzurro, il blu, l'indaco e il viola, colori calmi, passivi, negativi e lontani che spingono alla meditazione. Negli spazi destinati al gioco e alla ricreazione sono indicate le tinte calde che oscillano tra il giallo chiaro, il giallo-arancio e l'arancio chiaro poiché stimolano la produzione di adrenalina e, come detto, influiscono notevolmente sulla creatività e sulle capacità motorie. Nelle mense e nelle zone riposo si preferiscono le tinte fredde, poiché dal punto di vista fisiologico un ambiente dai toni verde-blu-azzurro influisce come rallentatore dei battiti cardiaci apportando una sensazione di calma e tranquillità.



FIG. 3.2.23  
Colori primi e secondari



FIG. 3.2.24  
L'azzurro  
come colore  
per la medi-  
tazione e la  
tranquillità

## 3.3 PROGETTARE LO SPAZIO EDUCATIVO

### 3.3.1 Riferimenti progettuali

#### 3.3.1.1 Ørestad Gymnasium

- Localizzazione: Ørestad, Copenhagen
- Paese: Danimarca
- Committente: Municipalità di Copenhagen
- Progetto architettonico: 3XN
- Progetto strutturale: Søren Jensen A/S
- Data fine lavori: 2007
- Superficie: 12000 m<sup>2</sup>
- Costo di realizzazione: 27 Mln (2.250 al m<sup>2</sup>)
- Numero aule: 39 gruppi di studenti (15 classi)
- Capienza: 715 (1150)
- Livello di studio: Scuola secondaria superiore (16-19 anni)

La scuola offre una serie di ambienti polifunzionali che si discostano notevolmente dalle impostazioni spaziali delle scuole tradizionali. Un ambiente aperto in continuità tutti i giorni della settimana consente agli studenti di svolgere singolarmente o in gruppo uno svariato numero di attività diventando un'opportunità sociale oltre che didattica.

La Danimarca è stato tra i primi paesi europei a integrare nella



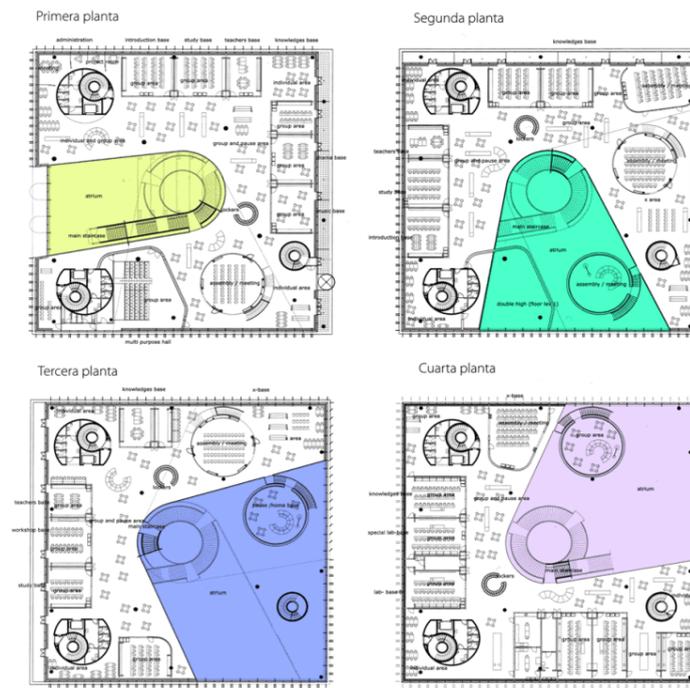
FIG. 3.3.1  
L'Ørestad  
Gymnasium,  
CPH

progettazione delle nuove scuole l'esigenza degli studenti di intervallare fasi di attività e studio con momenti di relax e movimento fisico e sulla base di questo pensiero, numerose sono le aree dedicate ad attività ricreative.

Gli ambienti di questa scuola innovativa fatta di aule aperte, isole di tavoli, palchi e gradinate, impongono ai docenti di abbandonare la classica lezione frontale facendo sì che i giovani siano diventino protagonisti attivi dei propri percorsi di apprendimento.

Secondo una gerarchia spaziale ben definita gli elementi fondamentali sono la classe intesa come un'ambiente chiuso in cui il docente può spiegare agli studenti la lezione o il lavoro che dovranno svolgere, e le aree di gruppo in cui gli studenti sono seduti attorno ad un tavolo con la possibilità

FIG. 3.3.2  
Piante -  
Ørestad  
Gymnasium,  
CPH



discutere e lavorare assieme. Aree plenarie all'interno dei cicli rappresentano gli spazi dedicati all'esposizione del lavoro mentre per quanto riguarda lo studio individuale sono previste sia delle postazioni PC che degli spazi relax.

Analizzando gli spazi partendo dalle piante dei 4 piani l'elemento di collegamento tra di essi è rappresentato da una grande scala centrale che funge da luogo di contatto e di incontro per gli studenti. È inoltre evidente come attorno a



FIG. 3.3.3  
Vista della  
promenade  
centrale  
- Ørestad  
Gymnasium,  
CPH

questo epicentro si sviluppi una corrispondenza tra ambienti chiusi e aperti, formali ed informali.

Al piano terra si trovano l'area mensa, che diventa spazio informale di incontro fuori dall'orario dei pasti, gli uffici amministrativi aperti e senza divisori, la palestra che a sua volta diventa area multifunzionale grazie ad una serie di pareti interne scorrevoli che permettono di suddividere lo spazio in più aree, e le aree specialistiche tra cui il laboratorio di musica. I piani soprastanti sono caratterizzati da una libera disposizione delle arredi dedicate alla didattica quali classi, aree per il lavoro di gruppo, per lo studio individuale, e per l'esposizione plenaria.



FIG. 3.3.4  
Gli interni  
- Ørestad  
Gymnasium,  
CPH

### 3.2.3.2 Vittra Telefonplan

- Localizzazione: Stoccolma
- Paese: Svezia
- Committente: Consorzio Vittra
- Progetto architettonico: Rosan Bosh
- Data fine lavori: 2011
- Superficie: 600 (da realizzare: 700) m<sup>2</sup>
- Costo di realizzazione: 1,2 Mln (2000 al m<sup>2</sup>)
- Numero aule: 2
- Capienza: 250
- Livello di studio: Istruzione primaria e secondaria di I grado (6-11 anni)

L'edificio ha una superficie di circa 600mq ed è strutturato su due livelli. Essendo frutto di un recupero di un'ex stabilimento industriale, la struttura della carpenteria Ericsson è stata conservata creando un grande open-space rialzato rispetto al livello della strada. All'interno di questo elemento sopraelevato si collocano gli spazi in cui gli insegnanti e gli studenti fanno lezione mentre sotto è stato creato uno spazio in cui si trovano la mensa e alcune stanze adibite a laboratorio.

FIG. 3.3.5  
I 5 spazi  
di Rosan  
Bosh - Vittra,  
Stoccolma

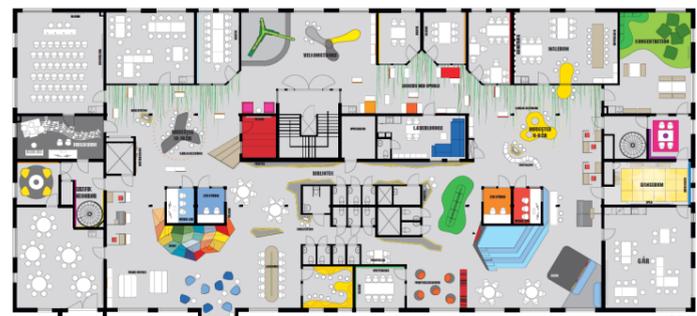


FIG. 3.3.6  
Pianta piano  
terra - Vittra,  
Stoccolma



FIG. 3.3.7  
Pianta piano  
primo - Vittra,  
Stoccolma

La riflessione fatta dalla scuola parte dal presupposto che l'apprendimento avviene in momenti e modalità differenti e di conseguenza non si possono avere solamente spazi per la lezione frontale. A tal proposito ci sono soltanto 2 le aule nella scuola che vengono utilizzate soprattutto per gli alunni dai 6 ai 7 anni che necessitano di uno spazio rassicurante prima di potersi interfacciare con spazi più aperti e flessibili.

In una gerarchia rappresentata in *Figura 3.3.7* sono 5 gli spazi

identificati dall'architetto R. Bosh e dedicati all'apprendimento:

- *spazio per il lavoro di gruppo* deve solo la lezione è dedicata alla spiegazione di ciò che gli studenti dovranno fare successivamente in modo libero e autonomo in altri luoghi più adatti;
- il *laboratorio* che si propone come luogo polifunzionale dove recuperare la dimensione manipolativo-esperenziale;
- lo *spazio informale* dedicato alla socializzazione e al riposo;
- la *caverna* come luogo personale nasce è un luogo importante dove fare attività che richiedono il più totale silenzio;
- il *teatro* infine luogo comunitario per attività collettive in cui vengono mostrati i lavori.

Oltre questi spazi vi sono inoltre un cortile esterno, una palestra e una biblioteca.

FIG. 3.3.8  
Alcune viste  
dell'inter-  
no - Vittra,  
Stoccolma



### 3.2.3.3 4het Gymnasium

- Localizzazione: Gevleweg, Amsterdam
- Paese: Olanda
- Committente: Stadsdeel Westerpark Amsterdam, Esprit-Scholengroep, Gemeente Amsterdam dmo.
- Progetto architettonico: HVDN
- Progetto strutturale: Jean-Marc Saurer
- Data fine lavori: 2008
- Superficie: 4000 m<sup>2</sup> (in 3 blocchi)
- Costo di realizzazione: 4,5 Mln (1000 al m<sup>2</sup>)
- Numero aule: 30
- Capienza: 650
- Livello di studio: Scuola di secondo grado (11-18 anni)

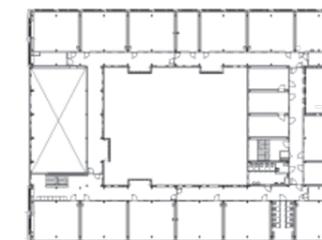


FIG. 3.3.9  
Pianta  
del piano  
primo - 4het  
Gymnasium,  
ADAM

La scuola è stata costruita attraverso elementi prefabbricati comportando delle tempistiche di realizzazione molto ridotte. Grazie a questa caratteristica modulare l'edificio può assumere e avere diverse disposizioni attorno ad una corte scentrale che

FIG. 3.3.10  
Vista del  
fronte  
strada - 4het  
Gymnasium,  
ADAM



rappresenta uno spazio di socializzazione esterno protetto e sicuro.

Innalzata su tre livelli, dalla pianta del piano terra emerge evidente l'atrio, punto d'incontro degli studenti durante i break e utilizzato per la realizzazione degli spettacoli. Ai piani superiori gli spazi di collegamento vengono utilizzati in maniera flessibile dagli studenti, per studiare da soli o in compagnia dove in alcuni punti sono arredati con poltroncine e tavolini disposti in modo molto originale. Al secondo piano è presente una mediateca ovvero uno spazio diviso in maniera funzionale rispetto a possibili attività individuali e di gruppo ed utilizzato dagli studenti durante le ore buche per attività collaborative. All'esterno si trova lo spazio palestra che viene utilizzato per molteplici scopi tra attività sportive che di studio. Le aule, disposte lungo il perimetro, sono tradizionali nella forma, ma realizzate con pareti di vetro.

### 3.2.3.4 La scuola elementare di Ponzano Veneto

- Localizzazione: Ponzano Veneto, Treviso
- Paese: Italia
- Committente: Comune di Ponzano Veneto, Ponzano Patrimonio e Servizi
- Progetto architettonico: C+S Associati: Carlo Cappai, Maria Alessandra Segantini
- Progetto strutturale: Favero & Milan Ingegneria s.r.l.
- Data fine lavori: 2009
- Superficie: 4.102 M2
- Costo di realizzazione: 4 Mln (960 al m<sup>2</sup>)
- Numero aule: 15 + 5 speciali
- Capienza: 375
- Livello di studio: Scuola primaria (6-10 anni)

L'innovazione di questa atipica scuola Italiana sta non solo si trova nella logica organizzativa degli spazi didattici ma soprattutto nell'apertura che questa manifesta nei confronti dell'intera comunità. Inserendosi in un territorio estremamente frammentato e diviso, attraverso la possibilità e l'indipendenza



FIG. 3.3.12  
Piante - Scuola  
di Ponzano  
Veneto

FIG. 3.3.13  
Apertura verso  
la comunità - Scuola  
di Ponzano  
Veneto



di alcuni servizi come la palestra e il futuro auditorium attraverso degli accessi indipendenti, consentono all'edificio di diventare luogo un di aggregazione, incontro e confronto per tutti gli utenti senza limiti d'età. Per questo motivo nel progetto è stata riservata estrema cura allo studio degli spazi collettivi, sia nel suo impianto planimetrico, che nello sviluppo in altezza.

Tutti gli spazi sono delimitati da pareti vetrate e ruotano intorno ad una corte centrale dove si affacciano gli uni sugli altri. Le aule sono disposte sui fronti sud-est e sud-ovest, per beneficiare sia in termini energetici che di illuminazione della luce solare diretta. Oltre agli spazi comuni per la ricreazione, la scuola è dotata di una palestra regolamentare, una mensa ed una biblioteca. La palestra, solitamente un volume muto e ingombrante che non riesce a trasmettere lo stimolo di quanto vive all'interno, è stata incassata nel terreno per poterne diminuire l'impatto visivo dall'esterno ed in questo modo ha acquistato la possibilità di poter essere vista da ogni luogo della scuola, a partire dall'ingresso stesso.

### 3.2.3 Normative di riferimento

Ci troviamo in una fase di cambiamento che sta portando alla sostituzione del Decreto Ministeriale 18 dicembre 1975 recante "Norme tecniche aggiornate relative all'edilizia scolastica, ivi compresi gli indici di funzionalità didattica, edilizia ed urbanistica, da osservarsi nella esecuzione di opere di edilizia scolastica" con la pubblicazione sulla Gazzetta ufficiale di "linee guida" contenenti indirizzi progettuali di riferimento per la costruzione di nuove scuole in linea con l'innovazione introdotta nell'organizzazione della didattica con la diffusione delle tecnologie, dell'informazione e della comunicazione.

#### 3.2.3.1 Normative principali

##### STANDARD COSTRUTTIVI

- D.M. n. 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. 13/09/1977: Modificazioni alle norme tecniche relative alla costruzione degli edifici scolastici;
- Legge 11 Gennaio 1996, n.23: Norme per l'edilizia scolastica.



FIG. 3.3.14  
Vista della corte interna - Scuola  
di Ponzano Veneto

**ABBATTIMENTO BARRIERE ARCHITETTONICHE:**

- D.P.R. 24 Luglio 1996, n.503: Regolamento recante norme per l'eliminazione delle barriere architettoniche negli edifici, spazi e servizi pubblici;
- D.M. 14 Giugno 1989, n.236 Prescrizioni tecniche necessarie a garantire l'accessibilità, l'adattabilità e la visitabilità degli edifici privati e di edilizia residenziale pubblica sovvenzionata e agevolata, ai fini del superamento e dell'eliminazione delle barriere architettoniche.

**NORMATIVA ANTISISMICA**

- O.P.C.M. 20 Marzo 2003, n.3274: Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica successive modifiche ed integrazioni;
- O.P.C.M. 3 Maggio 2005, n.3431: Ulteriori modifiche e integrazioni all'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n.3274 del 20 Marzo 2003;
- D.P.C.M. del 12 ottobre 2015: definizione dei termini e delle modalità di attuazione degli interventi di adeguamento strutturale e antisismico, in attuazione dell'art. 1, comma 160, della legge 13 luglio 2015, n. 107.

**SICUREZZA**

- D.Lgs. 81/2008: Attuazione dell'articolo 1 della legge 3 agosto 2007, n. 123, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro;

**ANTINCENDIO**

- D.M. 26 Agosto 1992: Norme di prevenzione incendi per l'edilizia scolastica.

**RENDIMENTO ENERGETICO**

- D.L. 29 Dicembre 2006, n.311: Disposizioni correttive ed integrative al D.L. 19 Agosto 2005, n.192, recante attuazione alla Direttiva Europea 2002/91/CE, relativa al rendimento energetico degli edifici.

**3.2.3.2 Nuove Linee Guida**

Le nuove linee guida forniscono *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*. Come spiegato dal MIUR questo insieme di prescrizioni porta a garantire scuole sicure, sostenibili, accoglienti e adeguate al nuovo modo di fare didattica. Il documento rinnova i criteri per la progettazione degli spazi e delle dotazioni per la scuola del nuovo millennio, accantonando lo stile prescrittivo delle precedenti, risalenti al 1975. La nuova logica è di tipo prestazionale e rende i criteri di progettazione più agevolmente adattabili alle esigenze didattiche e organizzative di una scuola in continuo mutamento. Cambia la concezione dello spazio, vengono riconfigurate le architetture

interne non considerando più la lezione frontale come modello prevalente dell'organizzazione didattica. Vengono richiesti spazi molto flessibili e facilmente configurabili che possano rispondere a contesti educativi sempre diversi e funzionali a sistemi di insegnamento e apprendimento più avanzati.

La scuola moderna, come si prospetta dal documento, deve essere attenta al benessere psico-fisico degli alunni; devono essere progettati spazi individuali, adatti alle esigenze del singolo, dove poter studiare, leggere e organizzare le proprie attività attraverso l'utilizzo di mezzi tecnologici e connettendosi alla rete. A questi spazi si affiancano quelli per l'apprendimento informale ed il relax, dotati di sedute confortevoli dove è possibile socializzare e confrontarsi; auditorium o sale musica di maggiori dimensioni, ma anche cucine e mense che possono diventare atelier sul cibo e punti di aggregazione sociale anche al di fuori dell'orario scolastico. Bisogna valutare con attenzione i materiali in base alla loro qualità per far sì che la scuola perda il suo carattere monotono. Soprattutto per i bambini più piccoli l'ambiente deve essere vario e sensorialmente interessante per stimolarli nella crescita. Altro aspetto principale delle linee guida riguarda il concetto di scuola vista come Civic Center, quindi come un edificio aperto al territorio ed alla comunità locale in grado di valorizzare istanze sociali, formative e culturali. Per questo dovrà sorgere in una zona salubre, lontana da zone molto trafficate e dotata di spazi per l'attività sportiva. Di particolare importanza è il collegamento con la rete di mezzi pubblici e con i percorsi sicuri (pedonali o ciclabili).



04

ARCHITETTONICO

## 4.1 UNA SCUOLA COME PUNTO DI RIFERIMENTO PER LA COMUNITÀ LOCALE

### 4.1.1 Una scuola - centro civico

L'opportunità scaturita dalla necessità di una nuova scuola secondaria di primo grado non va persa ed è doveroso riflettere sulle diverse possibilità che si possono creare.

L'amministrazione si trova dinnanzi alla concreta esigenza di un nuovo polo scolastico al fine di perseguire gli obiettivi determinati dalle necessità contingenti dovute alla vetustà e impossibilità di ulteriore intervento sulla scuola attuale.

Va considerata la possibilità di dotare il territorio non solo di un nuovo edificio scolastico, ma di un vero e proprio centro culturale, per poter estendere il concetto di educazione a livello di comunità e dar vita ad un circuito intellettuale che sappia interagire con il sistema scolastico e con i diversi ambiti culturali. La cultura, del resto, è il presupposto fondamentale per l'educazione e per lo sviluppo della singola persona, come di un'intera città e di tutti i suoi abitanti, ecco perché è importante trovare un contenitore che possa accogliere non solo una scuola ma spazi per fare "cultura". La creazione di una struttura legata alla sfera artistica-culturale può costituire una spinta propulsiva atta a creare un circuito intellettuale che

sappia apportare benefici bilaterali alla comunità ed al sistema istruttivo.

Un altro ruolo chiave viene ricoperto dallo sport che svolge anch'esso importante azione culturale attraverso un diverso canale.

La sfida, a livello progettuale, è rappresentata dalla gestione dei diversi "spazi della cultura". Essi devono interagire e quindi avere una interconnessione, ma allo stesso tempo devono essere capaci di evitare le possibili interferenze.

All'interno di questi nuovi spazi può operare Centro Culturale Brianteo che costituisce una realtà presente sul territorio di Casatenovo già dall'ottobre 1965, il quale scopo è quello di offrire al di fuori e al di sopra di ogni differenza ideologica e di classe, un mezzo di affinamento spirituale e culturale atto a determinare, nella zona in cui opera, un sempre più alto costume di vita. Offrire a tutti ed in particolare a coloro che solitamente hanno più difficoltà ad avvicinarsi a quelle fonti di cultura e d'arte. I risultati raggiunti sono stati eccellenti dal momento che le manifestazioni di questo Centro hanno raccolto un pubblico di oltre 2000 persone per sera, già all'inizio dei suoi anni di attività. La natura di questo Centro intende testimoniare

*Anche l'architetto è un insegnante, perché lascia sul territorio dei segni che devono durare nel tempo e da cui i giovani devono apprendere. L'architettura scolastica è un testo, è qualcosa che ti permette di apprendere la realtà e la concezione degli spazi interni, questa architettura è fondamentale per capire cosa è il comfort, cosa è la funzionalità, tutti concetti che in architetture concettualmente povere portano ad esperienze povere. Vivere la scuola in spazi e luoghi adeguati può diventare la metafora del nostro stare al mondo, imparando a relazionarsi con gli altri, rispettare regole, prendendosi cura dello spazio in cui si è immersi e partecipi.*

*"Ciò che è importante riguardo le forme, così come le parole e le frasi, è il modo in cui queste sono lette e le immagini che esse evocano agli occhi del lettore"*

Herman Hertzberger

FIG. 4.1.1  
Posizione  
poli-centrica  
dell'area di  
progetto

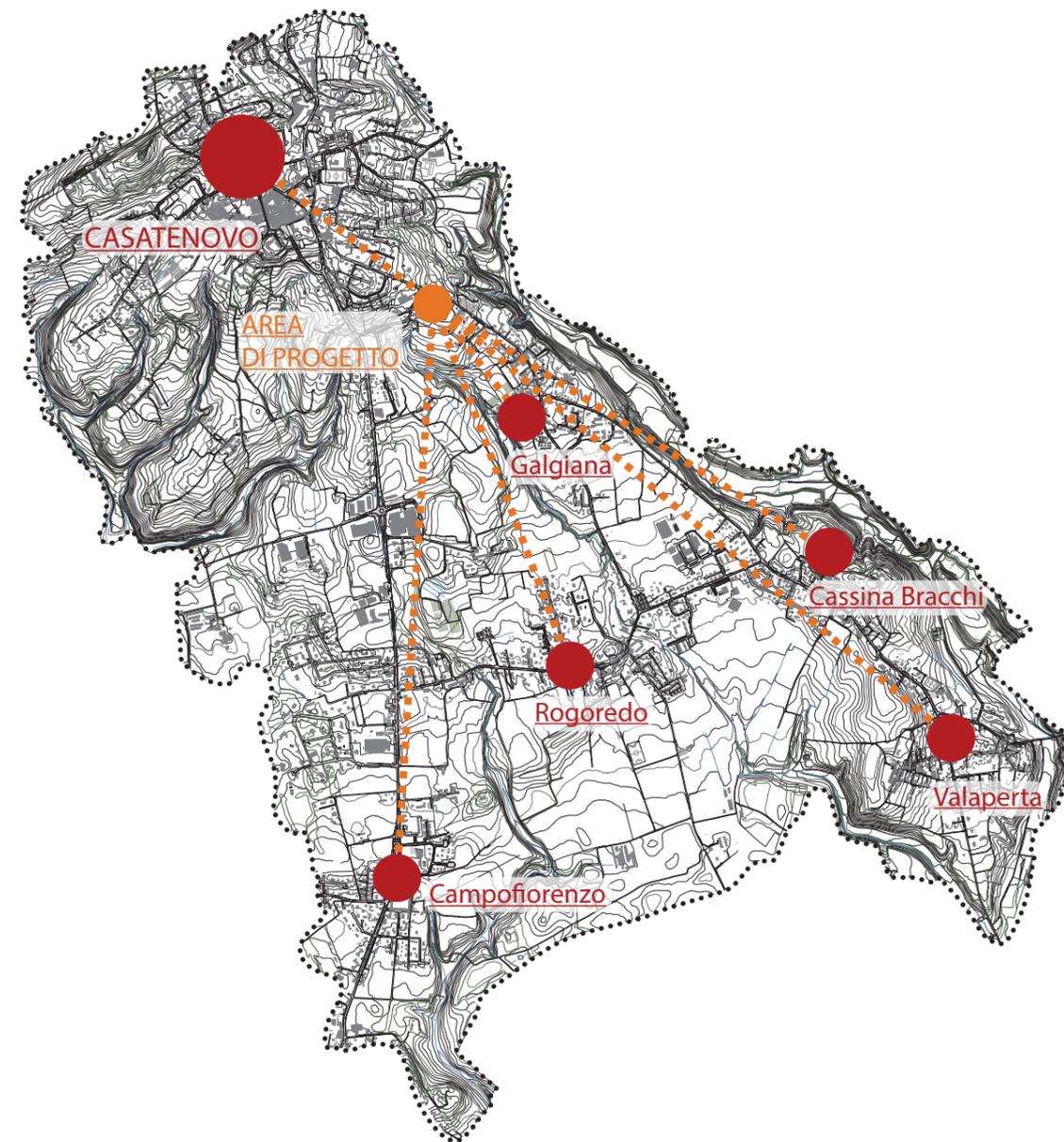


FIG. 4.1.2  
Rapporto con  
il contesto



che la cultura non significa privilegio né sterile accademia. Essa è invece un insieme di valori che riguardano la vita di ogni individuo e che contribuiscono a dare a questa significato e forza responsabile.

#### 4.1.2 Rapporto con il contesto

L'area indicata per la realizzazione della nuova scuola è un'area poli-centrica rispetto alle frazioni ed il centro città, si tratta di un punto strategico connesso con tutto il territorio.

Ad una scala minore le potenzialità presenti sono altrettante. Si può infatti dialogare con il tessuto urbano da un lato e col paesaggio naturale dall'altro. Il dialogo principale con il contesto urbano si crea attraverso via Crotta e via San Giacomo le quali fungono necessariamente da vie di collegamento ed ingresso all'area. Da via Crotta ci si rivolge anche verso le due scuole esistenti

L'edificio si imposta quindi tenendo conto di questi presupposti. Verso la città si trovano la biblioteca e la palestra, costituenti principali del centro civico, rivolti verso valle si sviluppano gli spazi della scuola vera e propria.

Il centro civico può godere di un rapporto diretto con la città e la scuola di una posizione protetta e orientata verso il paesaggio naturale. Gli spazi didattici si rivolgono, in questo modo, a sud godendo della luce diretta del sole che risulterà comunque modulabile attraverso dispositivi di oscuramento.

Il rapporto con la natura è rilevante ed è necessario riporvi una particolare attenzione. È opportuno legare da nord a sud le due

FIG. 4.1.3  
Nuova area verde

porzioni di territorio verdi costituendo un corridoio ecologico da monte a valle. La componente naturale è fondamentale anche dal punto di vista culturale e didattico.

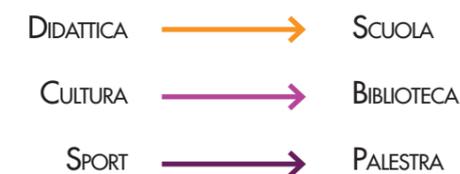
### 4.1.3 Una nuova area verde

Dall'analisi del contesto si è notato che le aree verdi nel comune di Casatenovo non sono molte ed i parchi sono solamente tre, dei quali solo uno è accessibile quotidianamente, infatti gli altri due si trovano all'interno di ville storiche ospitanti servizi comunali, ma non sempre sono aperti al pubblico.

La nuova scuola, oggetto del lavoro di tesi, sostituirà l'esistente scuola secondaria di primo grado oramai obsoleta. Questo vecchio edificio scolastico è antistante all'area di progetto e occupa un ampio spazio che può essere trasformato in un parco per la città con il trasferimento nel nuovo edificio. Verosimilmente anche la scuola primaria potrà in un futuro essere inglobata all'interno del nuovo polo scolastico quindi ampliando l'area verde. Ovviamente questa area crea nuove opportunità e contribuirà ad arricchire il valore sociale della nuova scuola e del centro civico.

### 4.1.4 Gli spazi della cultura

Dal bando di concorso, analizzato come spunto per questa tesi, oltre a contenere la richiesta di spazi per la didattica convenzionale, presenta una parte più interessante nella quale si manifesta il voler realizzare degli spazi di interesse per l'intera comunità, creando un'interazione sociale virtuosa.



#### SCUOLA

Spazio vero e proprio dove l'attività scolastica viene svolta in sicurezza e senza interferenze con altre attività.

#### BIBLIOTECA

Una delle idee riportate nel bando è quella di una biblioteca civica polifunzionale per contenere i lavori degli alunni e le collezioni dedicate alle attività didattiche e scolastiche oltre che per la comunità. Rappresenta il cuore del centro civico.

#### PALESTRA

Spazio fondamentale per l'integrazione delle attività motorie è la palestra che ha un ruolo chiave sia a livello culturale che a livello sociale.

FIG. 4.1.4  
Esempio classeFIG. 4.1.5  
Ørestad  
Public Library,  
DanimarcaFIG. 4.1.6  
Palestra 4het  
Gymnasium,  
Paesi Bassi

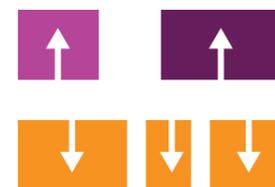
## 4.2 CONCEPT

### 4.2.1 Configurazione degli spazi



#### GLI SPAZI DELLA CULTURA

Coesistono scuola, biblioteca e palestra, la scuola rappresenta lo spazio più consistente



#### AUTONOMIA

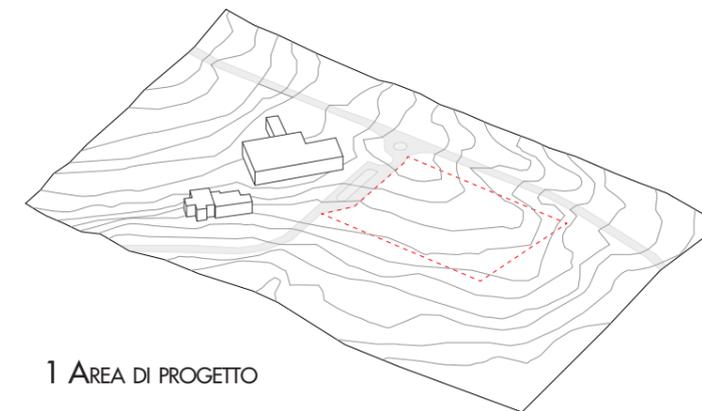
Ogni elemento funzionale manifesta la propria indipendenza attraverso una compartimentazione autonoma che ne permette l'utilizzo in maniera autonoma



#### INTERAZIONE

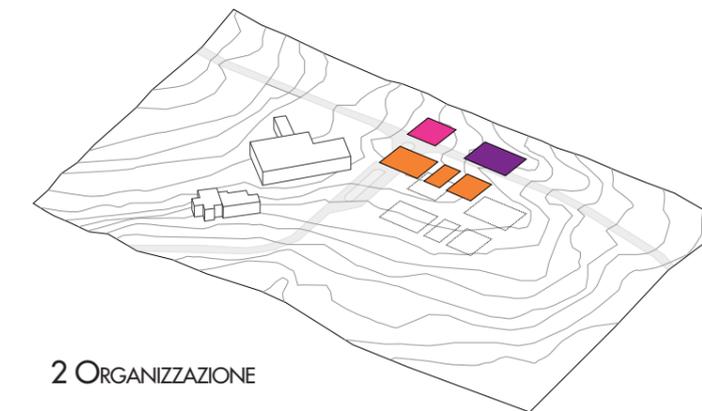
Nello stesso momento il complesso si presenta come una grande entità nella quale vi è una circolazione continua e una comunicazione tra gli spazi

### 4.2.2 Volumetrico



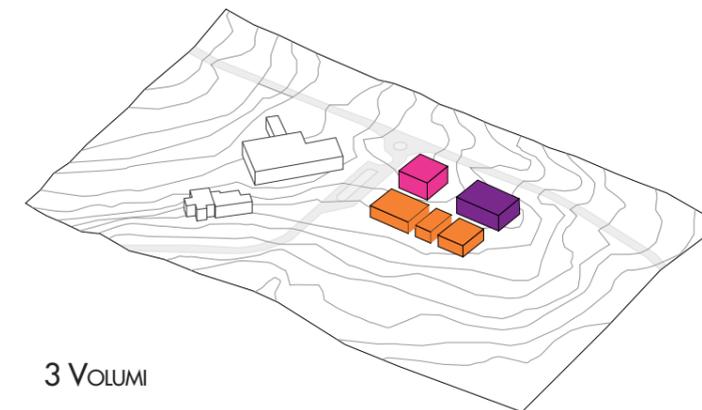
#### 1 AREA DI PROGETTO

La nuova scuola si interfaccia a nord-ovest con le scuole esistenti e con la viabilità



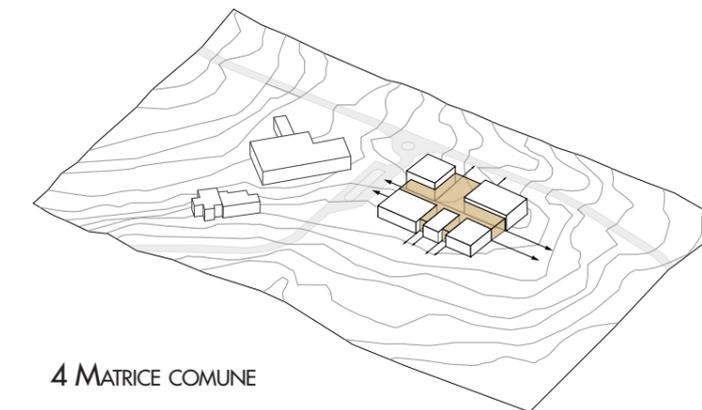
#### 2 ORGANIZZAZIONE

Proiezione degli spazi nel contesto



#### 3 VOLUMI

Gli spazi acquisiscono entità volumetrica rispetto alla scala circostante

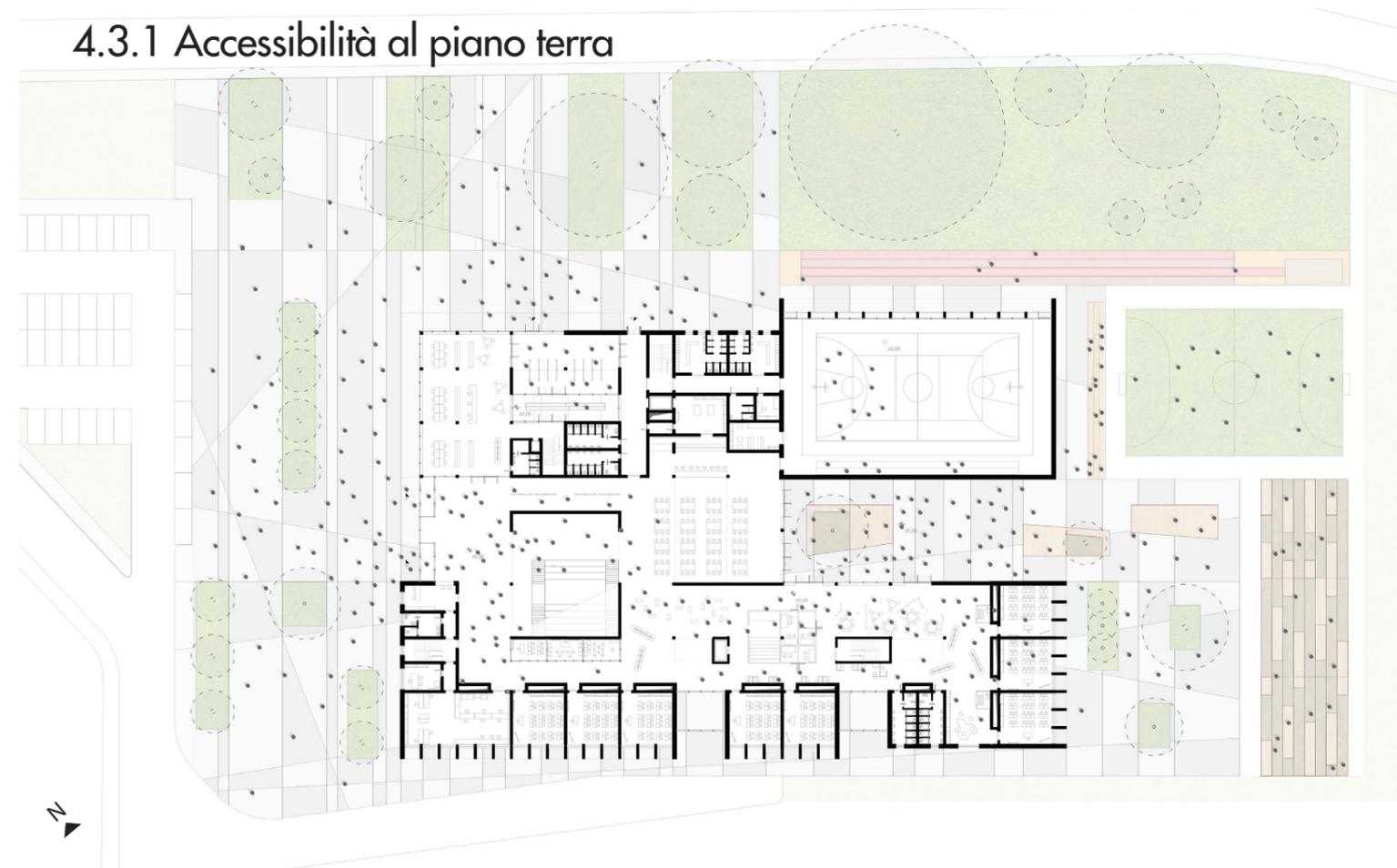


#### 4 MATRICE COMUNE

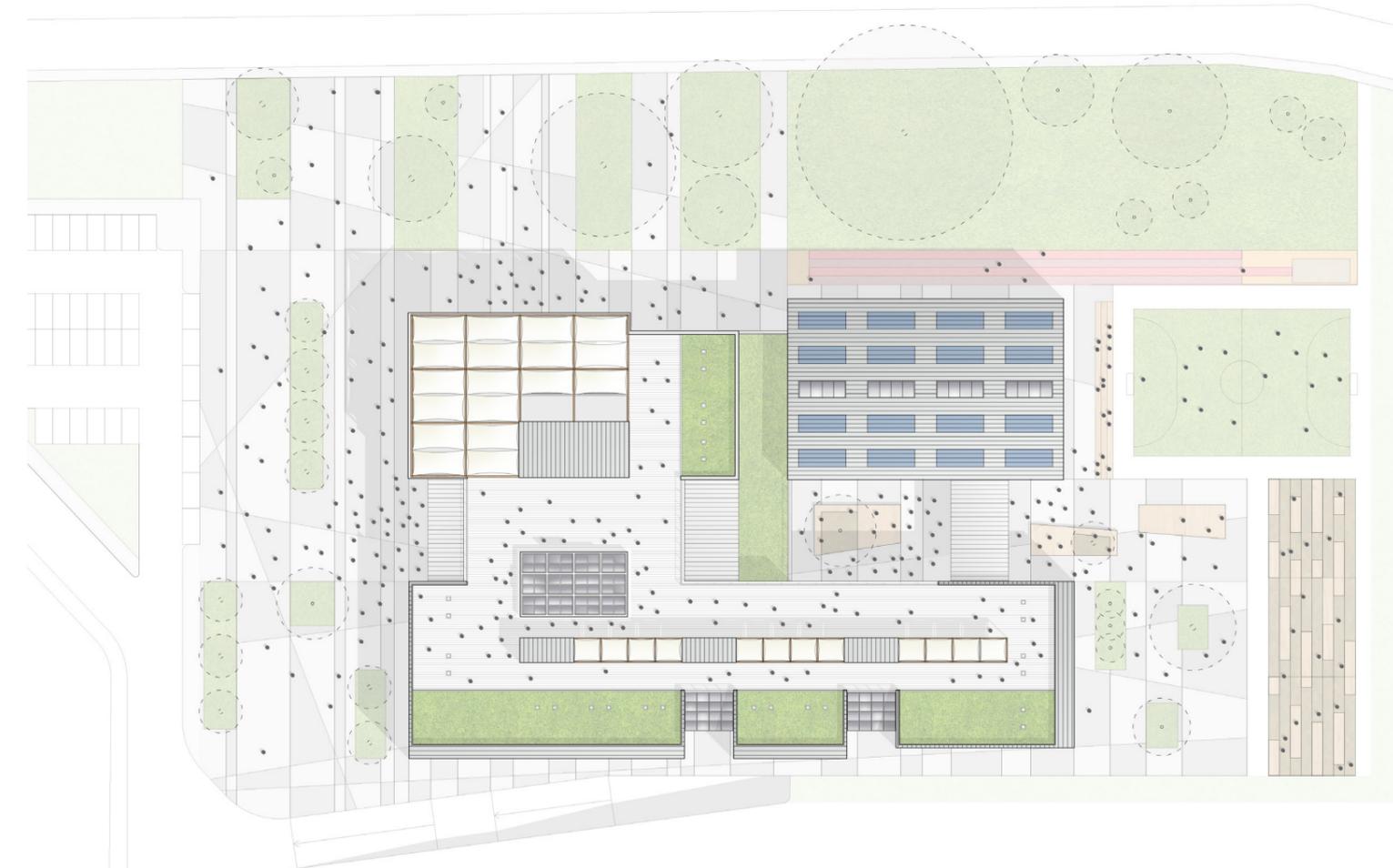
I volumi si interfacciano tra loro attraverso uno spazio che funge sia da collegamento che da diaframma

## 4.3 MASTERPLAN

### 4.3.1 Accessibilità al piano terra



### 4.3.2 Planivolumetrico



## 4.4 IL PROGETTO

FIG. 4.4.1  
Layout: accessi  
alle differenti  
funzioni



### 4.4.1 L'organizzazione degli spazi

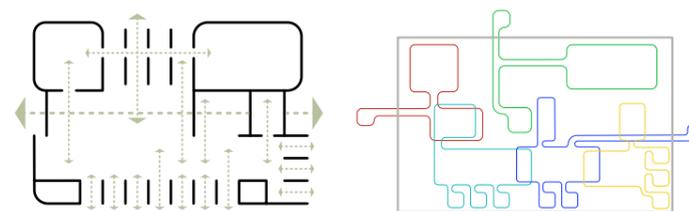
Le tre macro-funzioni che compongono l'edificio sono: scuola, biblioteca e palestra. Ognuna di queste ha un proprio volume pur essendo "immerse" all'interno di una matrice comune. L'atrio di ingresso è caratterizzato da una grande scalinata, luogo d'incontro e utilizzabile per spettacoli e presentazioni sia dalla scuola che per eventi del centro civico.

La scuola si configura con cinque diversi spazi. Uno spazio di erogazione si concretizza, sui bordi dell'edificio, con le tradizionali aule per la lezione frontale. In un ampio spazio centrale invece si definiscono diverse zone: per le attività di gruppo, per lo studio individuale, per la condivisione di contenuti con un numero ampio di persone, per il relax e la socializzazione. Infine nei laboratori si svolgono le esperienze esplorative.

La biblioteca si sviluppa su due livelli collegati verticalmente da una ambiente a doppia altezza e da un pozzo luce. Quest'ultimo fa da sfondo ad uno spazio espositivo che costituisce l'ingresso indipendente della biblioteca.

La palestra è il punto focale dell'intero del centro sportivo che si estende all'esterno dell'edificio con attrezzature per l'atletica e un campo da calcetto. Al coperto il campo da pallacanestro è

FIG. 4.4.2  
Schemi:  
intervisibilità  
e flussi



provvisto di spogliatoi ed infermeria.

La grande intervisibilità tra questi tre elementi permette di percepire facilmente lo spazio ed al contempo aumenta la capacità di orientamento all'interno degli stessi.

Lo studio in planimetria è stato focalizzato sulla possibilità di usufruire dell'edificio in differenti ore del giorno e da diverse utenze. Questo rende necessaria la regolamentazione dei flussi che non devono interferire a maggior ragione durante le ore di svolgimento dell'attività scolastica per questioni di sicurezza e di funzionalità. Palestra e biblioteca godono di accessi separati che ne permettono il loro utilizzo indipendentemente dall'attività didattica, quindi durante la stessa oppure nelle ore serali. Inoltre nel centro dell'edificio si colloca uno spazio ristoro che costituisce, non solo la mensa per gli studenti, ma funziona in altri momenti anche per il resto dell'utenza. Usufruire di questo spazio da parte della scuola, della biblioteca o dalla palestra è possibile grazie ad un sistema di compartimentazione degli spazi attivabile in maniera differente secondo le esigenze e gli orari della giornata.

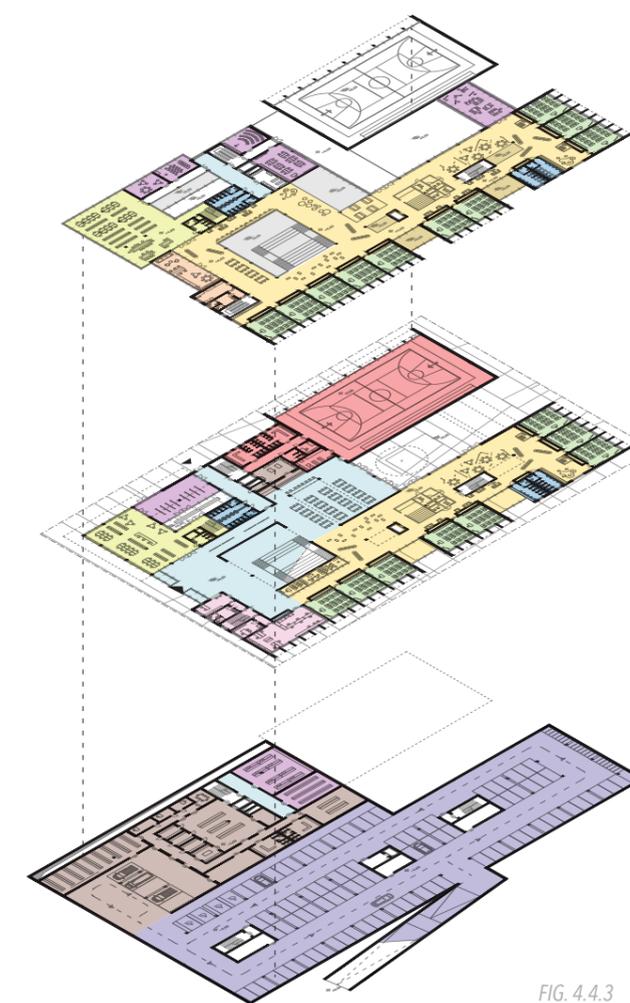
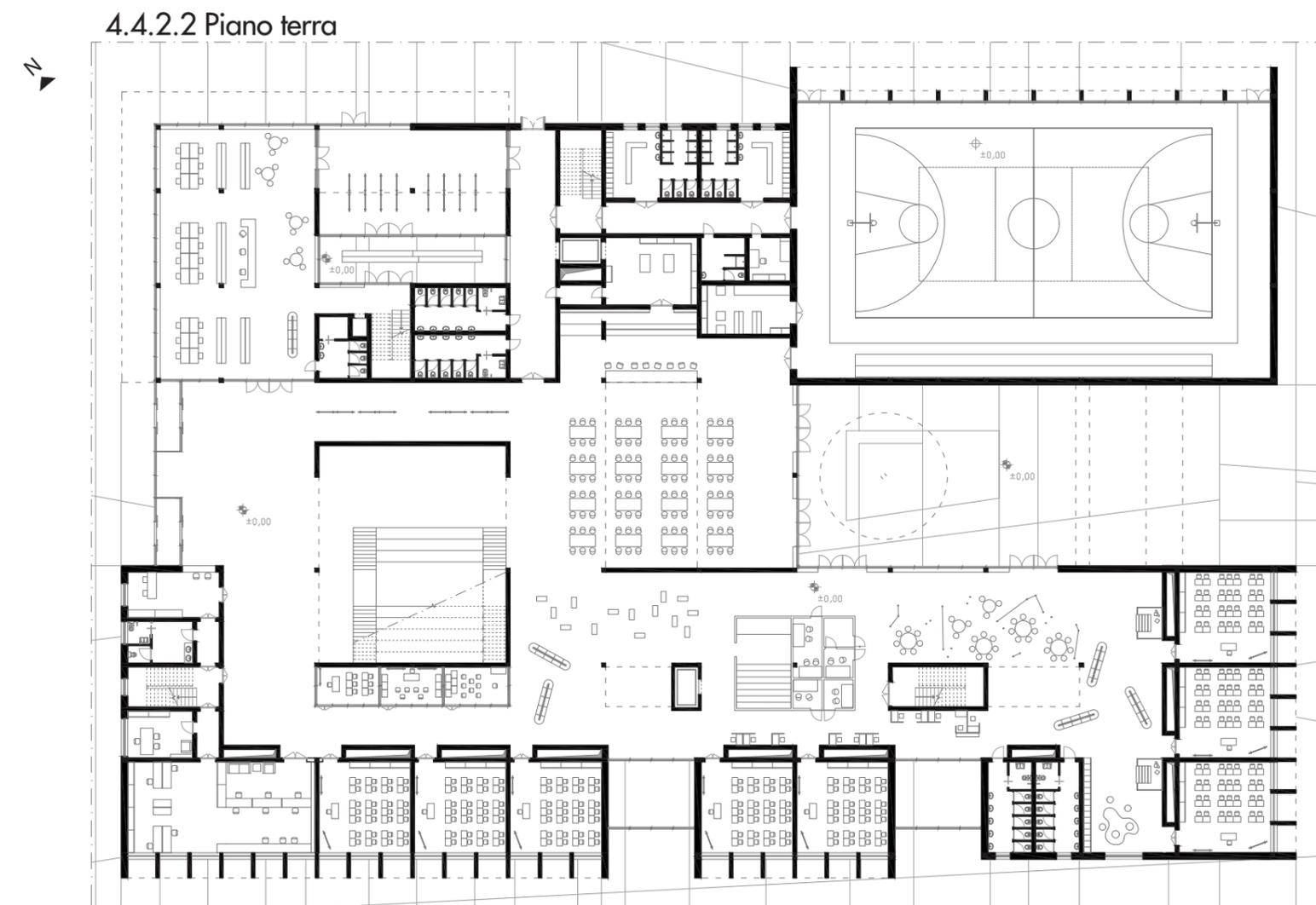
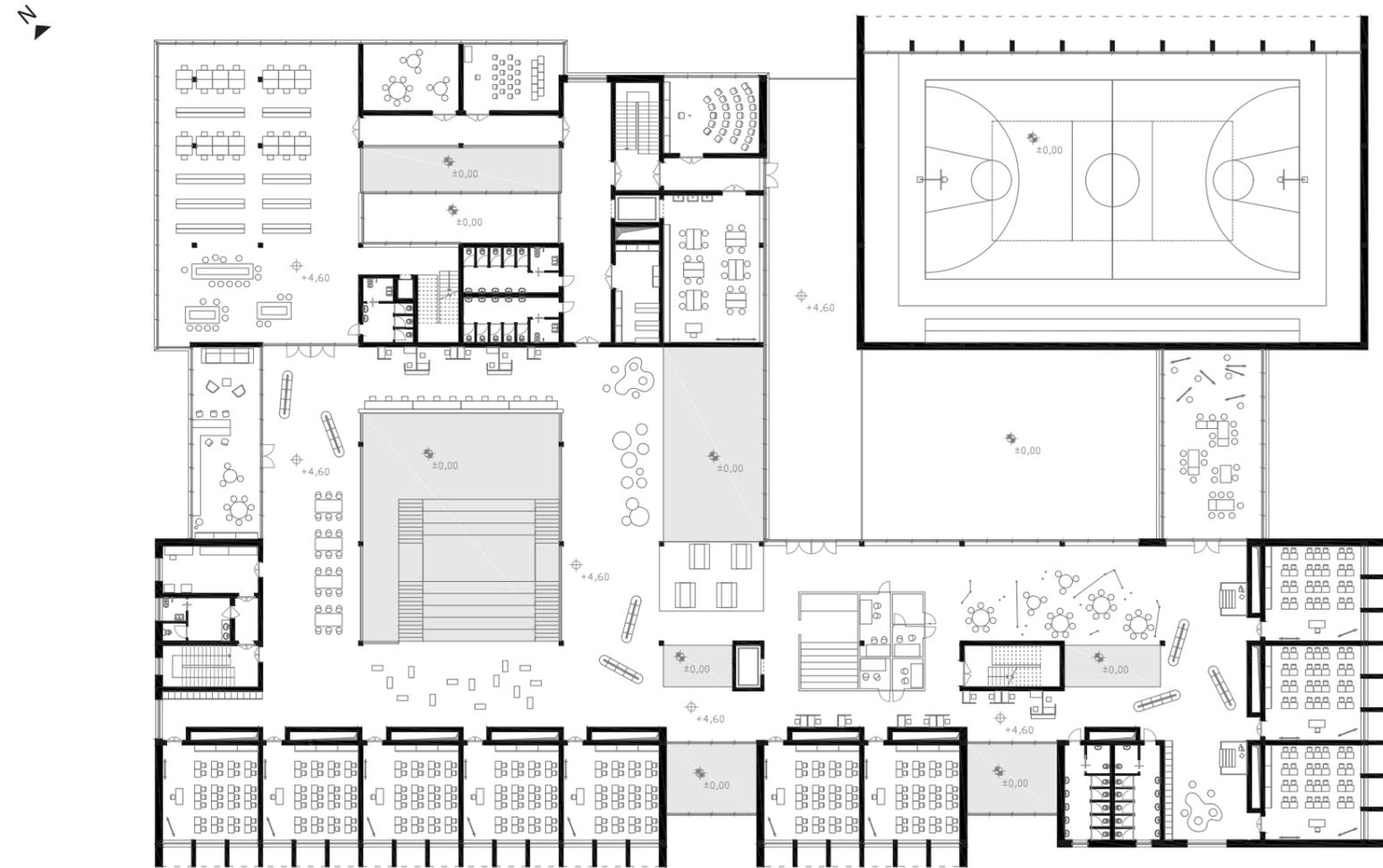


FIG. 4.4.3  
ayout funzionale

- Aule  
n° 18 x 52 m<sup>2</sup> = 936 m<sup>2</sup>
- Spazio scuola flessibile  
2.512 m<sup>2</sup>
- Biblioteca  
837 m<sup>2</sup>
- Spazio espositivo  
837 m<sup>2</sup>
- Palestra e spogliatoi  
966 m<sup>2</sup>
- Laboratori  
441 m<sup>2</sup>
- Sala professori  
76 m<sup>2</sup>
- Amministrativo  
162 m<sup>2</sup>
- Atrio e connettivo  
874 m<sup>2</sup>
- Bagni  
268 m<sup>2</sup>
- Centro cottura e  
distribuzione 1.141 m<sup>2</sup>
- Parcheggi  
n°81 - 2.700 m<sup>2</sup>



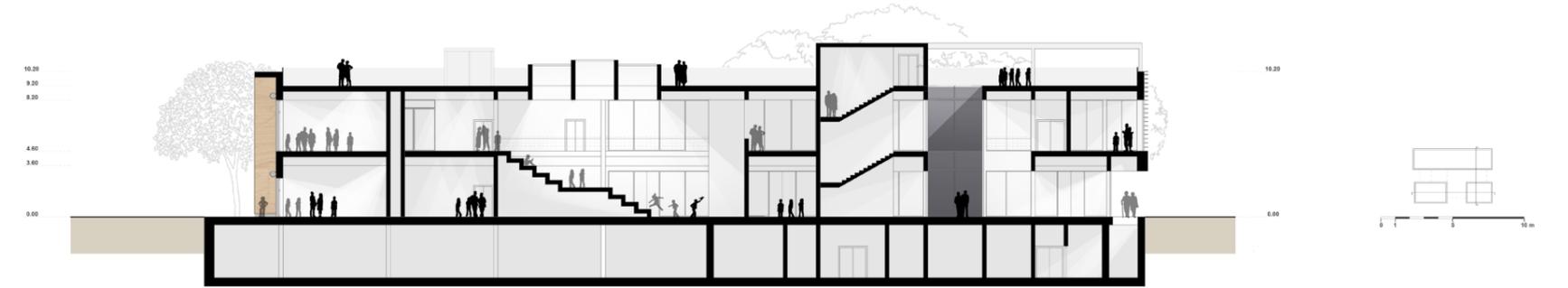
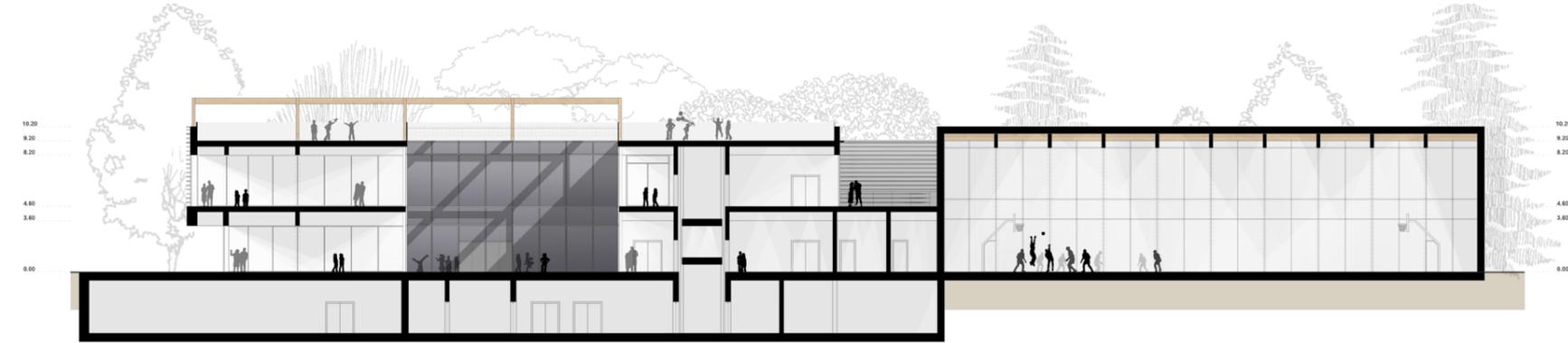
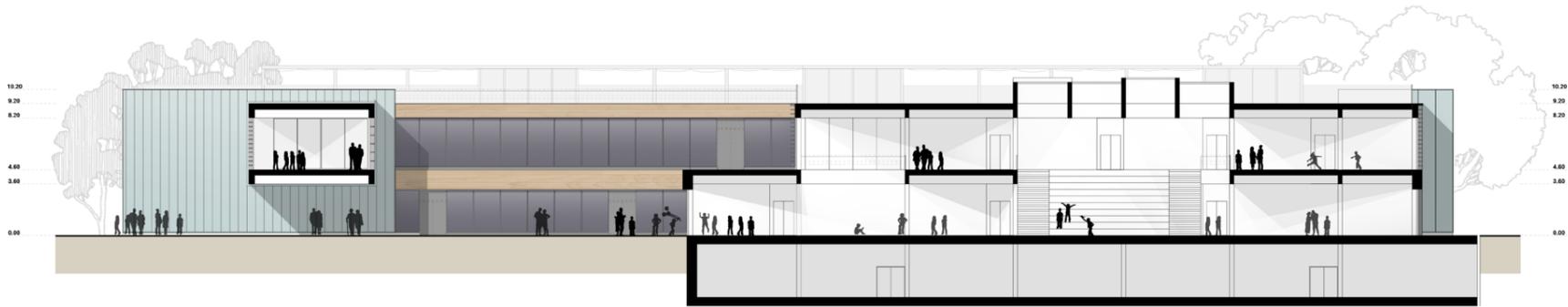
4.4.2.3 Piano primo



4.4.2.4 Pianta delle coperture



### 4.4.3 Sezioni verticali



### 4.4.5 prospetti

#### 4.4.5.1 Prospetto nord-est



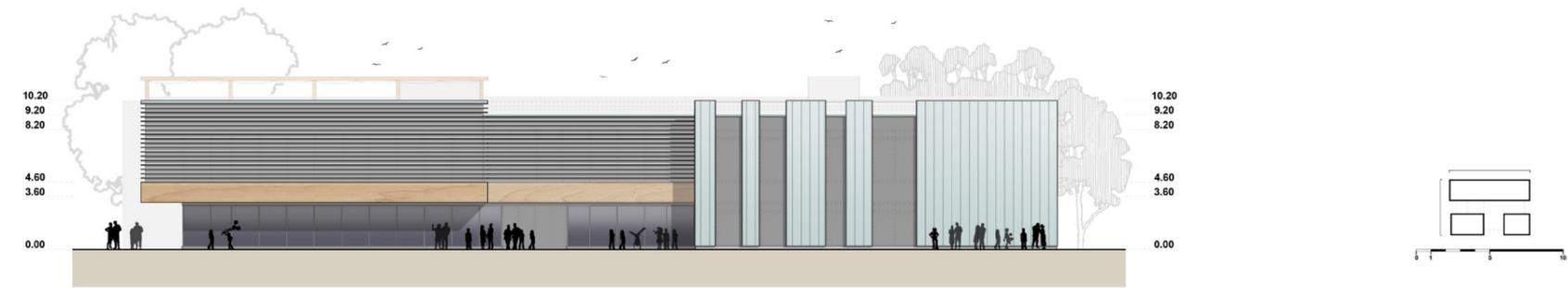
#### 4.4.5.2 Prospetto sud-est



#### 4.4.5.3 Prospetto sud-ovest



#### 4.4.5.4 Prospetto nord-ovest



## 4.4.6 Render



FIG. 4.4.3  
Biblioteca e  
ingresso



FIG. 4.4.4  
Ingresso e  
prospetto  
Sud-Ovest



FIG. 4.4.5  
Prospetto aula



FIG. 4.4.6  
Prospetto  
Sud-Ovest



FIG. 4.4.7  
Palestra



FIG. 4.4.8  
Prospetto  
Nord-Est,  
palestra e  
biblioteca



FIG. 4.4.9  
Patio interno  
e ponte -  
laboratorio



FIG. 4.4.10  
Gradonata

## 4.6 LAYOUT FUNZIONALE

FIG. 4.6.1  
Scuola femminile Ferguslie  
Works, Paisley, Scozia,  
1886

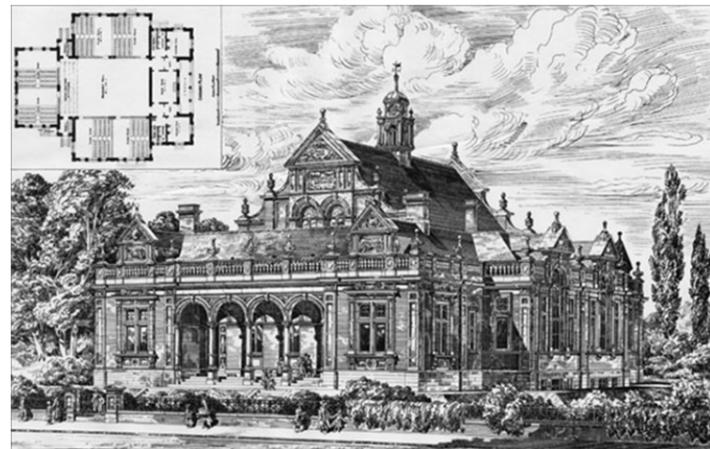


FIG. 4.6.2  
Atrio di  
ingresso del  
complesso  
scolastico  
integrato,  
Roma  
Herman  
Hertzberger



### 4.6.1 L'organizzazione funzionale

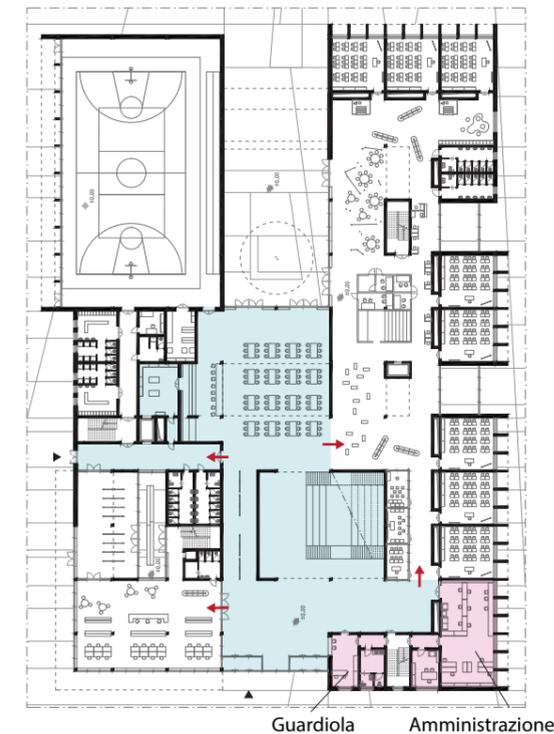
#### 4.6.1.1 La "piazza interna" dell'edificio

L'idea di un ampio spazio centrale non è nuova. Uno dei più antichi esempi lo si trova in una scuola per ragazze del 1886, la scuola femminile Ferguslie Works, a Paisley (Glasgow) in Scozia. Nella pianta si vede chiaramente il nucleo centrale.

Nel progetto della nuova scuola di Casatenovo entrando dall'ingresso principale si accede allo spazio centrale dell'edificio. La grande gradonata occupa l'ambiente come un monumento, rappresenta il punto focale di tutto l'edificio. Questo spazio è la *piazza interna* dell'edificio, punto di incontro e di rappresentanza, dove accogliere e mostrare ciò che accade all'interno dell'edificio. Le stesse linee guida del Miur definiscono l'ingresso come la *piazza della scuola*, il cuore della scuola, l'elemento simbolico più importante e il punto di riferimento per la distribuzione dei percorsi orizzontali e verticali dell'intero edificio.

La gradonata si configura come un auditorium tra i due piani e al centro dell'edificio, accessibile da tutti gli ambienti. Il core, l'atrio, con le scale come gradinate per sedersi e partecipare come in un'arena ad eventi. Una sorta di anfiteatro, con l'interno e l'esterno collegati in maniera impercettibile da grandi vetrate.

FIG. 4.6.3  
"Piazza  
interna" Piano  
terra



Questo spazio centrale libero si propone anche come luogo ideale per le pause tra le lezioni o per lezioni collettive tra più classi. Principalmente è utilizzato dall'attività scolastica ma durante l'orario extrascolastico il centro civico ne può usufruire. È quindi lo spazio in cui condividere eventi o presentazioni in modalità plenaria. Sono molte le attività che possono essere svolte in questo ambiente: gli alunni possono presentare i



FIG. 4.6.4  
"Piazza  
interna" Piano  
primo

loro lavori ad altri alunni, docenti e genitori; i docenti possono fornire indicazioni agli studenti per le attività da svolgere; si possono creare occasioni di condivisione con esperti esterni o altri soggetti in grado di fornire un contributo su temi specifici di approfondimento. Da questo ambiente si può accedere a tutte le diverse aree dell'edificio.

#### 4.3.1.2 Lo spazio per la didattica

Alla luce delle considerazioni fatte nel capitolo di analisi degli spazi per l'apprendimento 3.2.2 si è riflettuto su quale può essere una scuola che funzioni oggi ma anche domani, che soddisfi le richieste attuali ponendo attenzione a quella che sarà la scuola del futuro. La naturale risposta, per soddisfare tutte le necessità, è la flessibilità.

Lo spazio deve essere pronto a supportare le attività didattiche costituendo opportunità e non ostacoli. Non si può sapere con certezza come si evolveranno didattica e modalità di insegnamento, quindi bisogna creare i presupposti per accogliere i cambiamenti.

Per soddisfare le tradizionali richieste basterebbe creare una scuola con aule e minimizzare gli spazi di connettivo. Ma in questo modo le attività verrebbero svolte solo all'interno dell'aula che per ogni attività richiederebbe una configurazione diversa. Le interazioni tra gli studenti sarebbero limitate al gruppo classe e il rapporto con lo spazio sempre correlato allo stesso luogo. Per questi motivi l'aula non può più rappresentare la centralità della scuola, è un locale importante ma non autosufficiente.

Il confronto avviene quindi tra la conosciuta scuola a "schema corridoio" e la scuola "open plan". La prima è la scuola a cui si è tradizionalmente abituati e la seconda è il concetto più moderno dove lo spazio è definito da arredi e pareti mobili adattabili alle necessità.

La sfida, come anticipato, è quella di ragionare nel presente con uno sguardo al futuro. Il bando del Comune di Casatenovo

richiede espressamente 18 aule, una per ogni gruppo classe. Per funzionare oggi la scuola ha bisogno degli spazi ai quali siamo abituati ovvero l'aula, ma è altrettanto importante creare l'opportunità per una nuova didattica, che sia fluida nello spazio.

I due schemi si combinano nel progetto trasformando lo spazio che solitamente ha solo funzione di connettivo in uno spazio da vivere e esplorare, nel quale imparare, studiare, socializzare e rilassarsi. In questo modo il corridoio scompare e diventa utilizzabile. L'aula non è più il solo spazio disponibile ma diventa lo spazio base al quale si affiancano nuovi spazi. Così la lezione può cominciare in classe per poi spostarsi nei luoghi più adatti a seconda dell'attività svolta o dove lo studente si trova a proprio agio. Negli esempi visti nel paragrafo 3.2.3 abbiamo potuto capire come questi spazi sono veramente fondamentali per una didattica in continuo mutamento che richiede una molteplice diversificazione di tipologie per poter essere svolta al meglio.

FIG. 4.6.5  
Layout  
spazio per la  
didattica

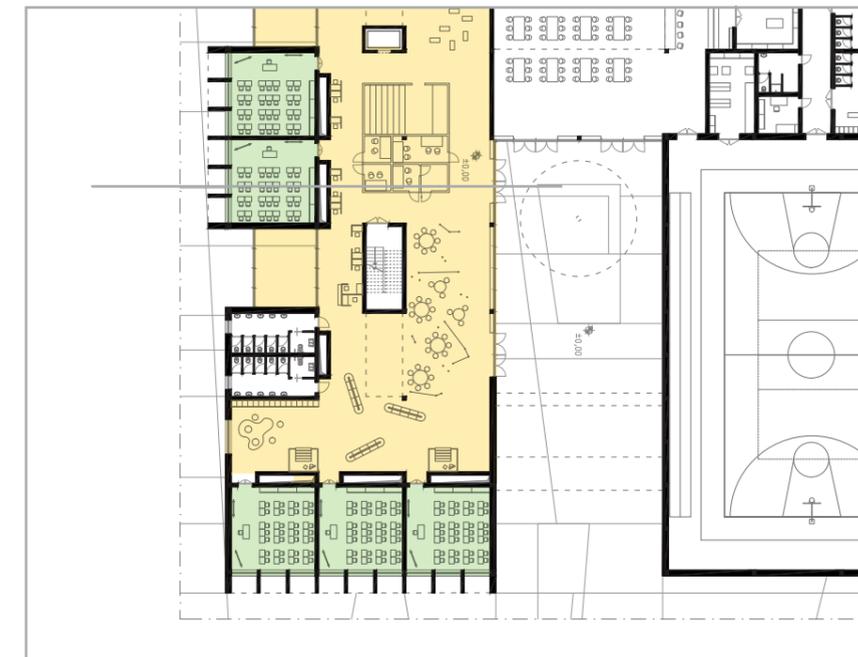
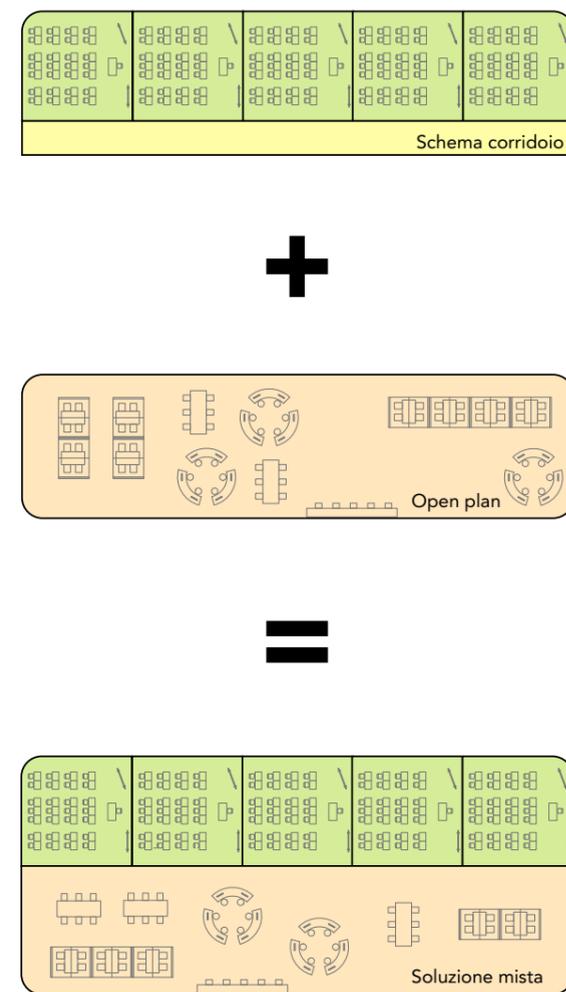


FIG. 4.6.6  
Stralcio  
di pianta  
sullo spazio  
didattico

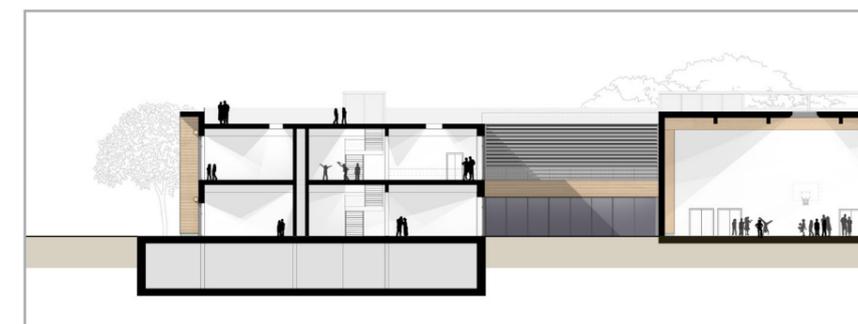


FIG. 4.6.7  
Sezione  
sullo spazio  
didattico

#### 4.6.1.3 La biblioteca e lo spazio espositivo

La biblioteca rappresenta il punto di incontro tra l'attività scolastica e gli utenti esterni, diventa un laboratorio trasversale aperto a studenti, docenti, genitori, personale e comunità locale, perché la biblioteca scolastica non deve essere "della scuola" ma trasformarsi in una biblioteca territoriale.

La conclusione è che la biblioteca diventa il punto di incontro con il paese, sia perché lì si dispiegano reti e sinergie sia perché quello diventa un luogo generativo dove si vivono nuove dimensioni sociali e relazionali. Non sono gli studenti ad uscire per andare in biblioteca ma gli abitanti che entrano nella scuola. Requisito fondamentale è l'apertura della biblioteca al territorio con la possibilità di utilizzo degli spazi e delle varie risorse informative, cartacee o digitali, anche fuori dall'orario scolastico. Si deve rivolgere dall'interno verso la città in maniera permeabile curandosi di non creare interferenze tra le varie attività.

Il piano terra ha la funzione di connessione con la città, permeabile e trasparente, sollevato dal terreno in modo che la città possa entrare e l'edificio diventi un luogo di scambio e connessione con il quartiere.

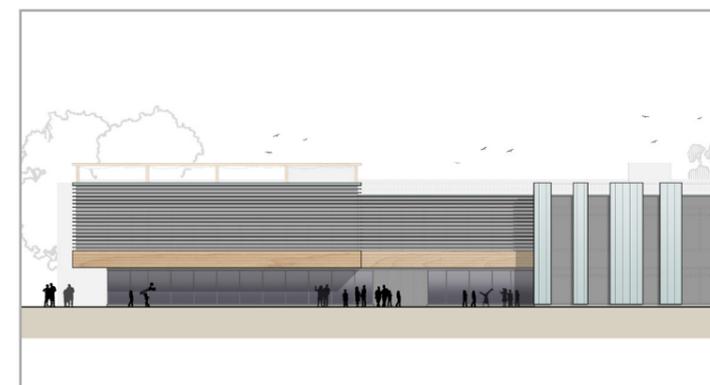


FIG. 4.6.8  
Prospetto  
biblioteca



FIG. 4.6.9  
Stralcio di  
pianta sulla  
biblioteca

Spazio espositivo Biblioteca

#### 4.6.1.4 La palestra

La palestra coadiuva l'attività didattica e quando aperta al pubblico, in orari extra scolastici, diventa altro luogo d'incontro e di svago per tutti gli abitanti. È un luogo in grado di offrire servizi alla comunità e allo stesso tempo di favorire le interazioni sociali.

Offrendo questo servizio si alimentano anche dei vantaggi dal punto di vista economico, la gestione può essere comunale oppure da parte di associazioni sportive e generare un introito per arricchire le attività didattiche e culturali.

Le dimensioni della palestra fanno sì che possa essere utilizzata a livello agonistico per la pallacanestro e la pallavolo.

L'orientamento a nord della grande vetrata e la luce zenitale dal tetto consentono di illuminare diffusamente la palestra e allo stesso tempo creano una connessione visiva tra l'esterno e l'interno. In questo modo la palestra è collegata all'edificio ma si rivolge alla città.



FIG. 4.6.10  
Sezione sulla  
palestra

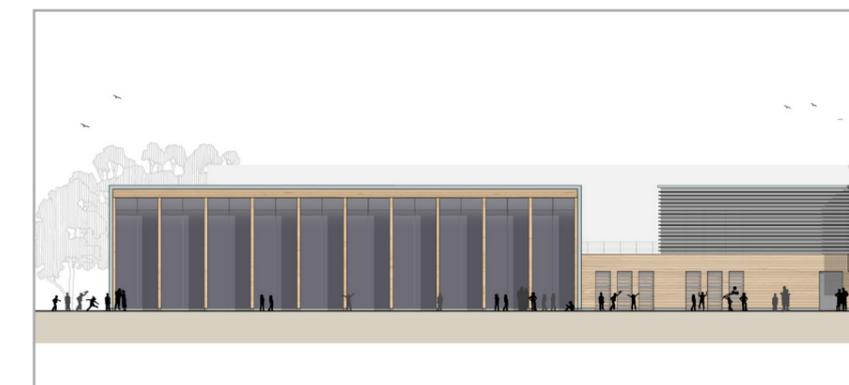


FIG. 4.6.11  
Prospetto  
palestra

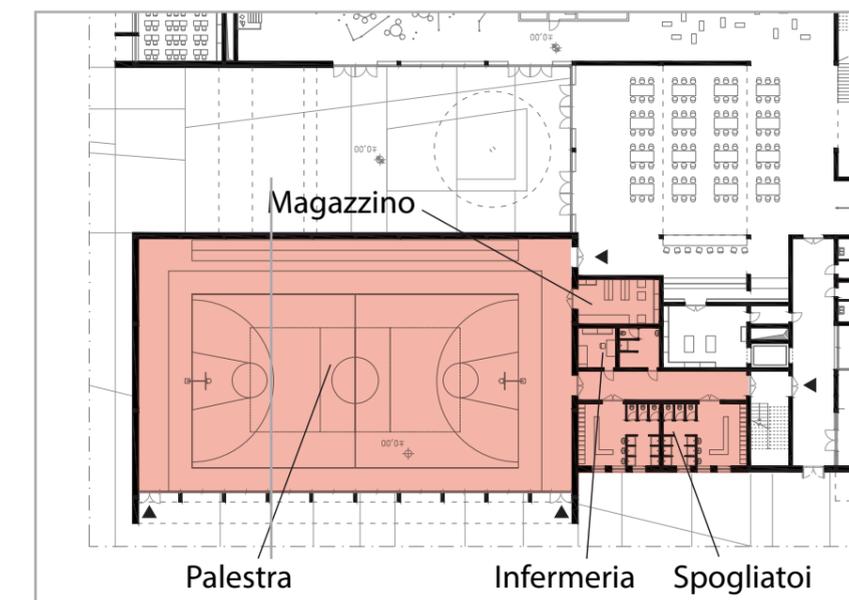
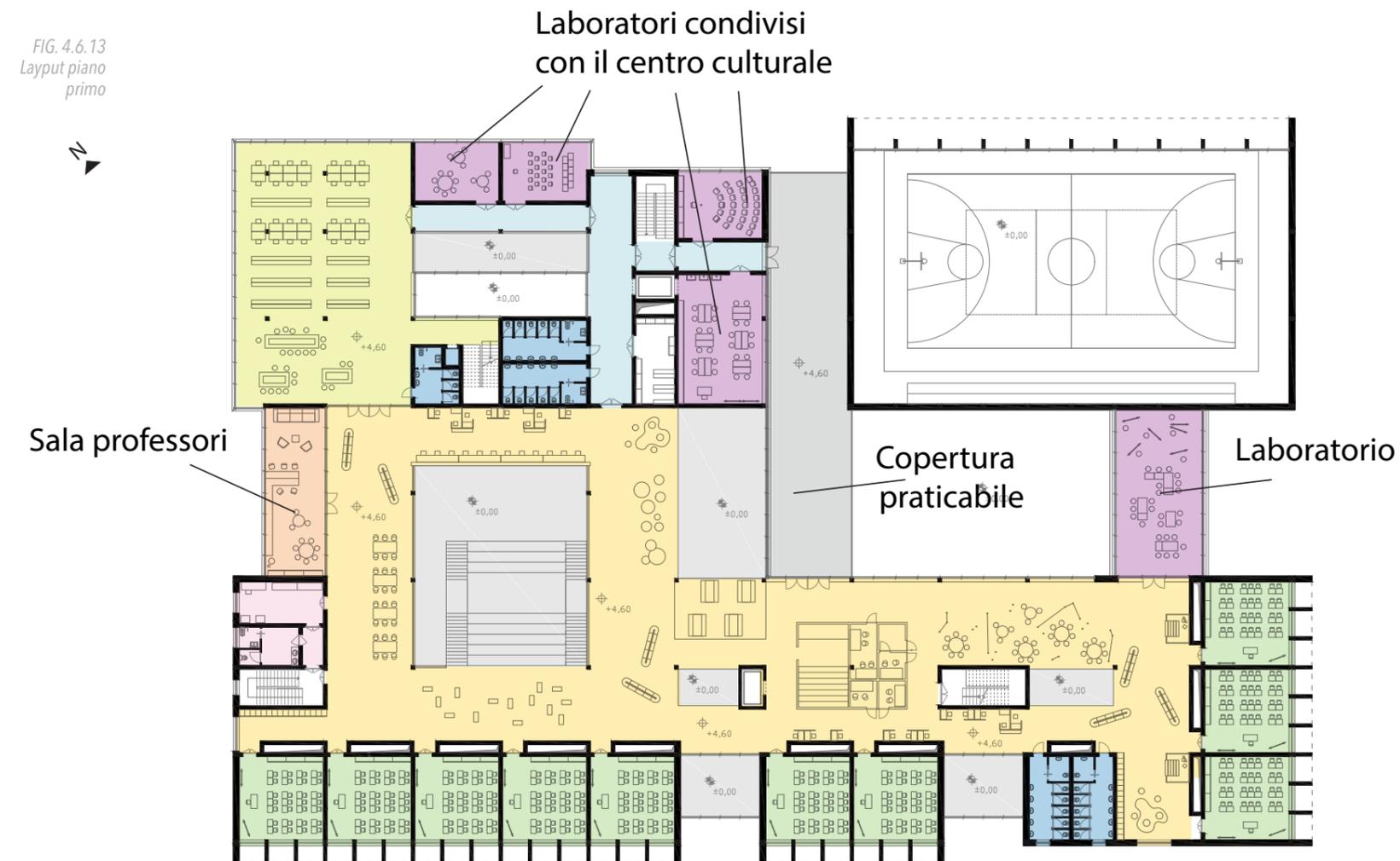


FIG. 4.6.12  
Stralcio di  
pianta sulla  
palestra

Palestra Magazzino Infermeria Spogliatoi

FIG. 4.6.13  
Layout piano  
primo



#### 4.6.1.5 Il Piano primo

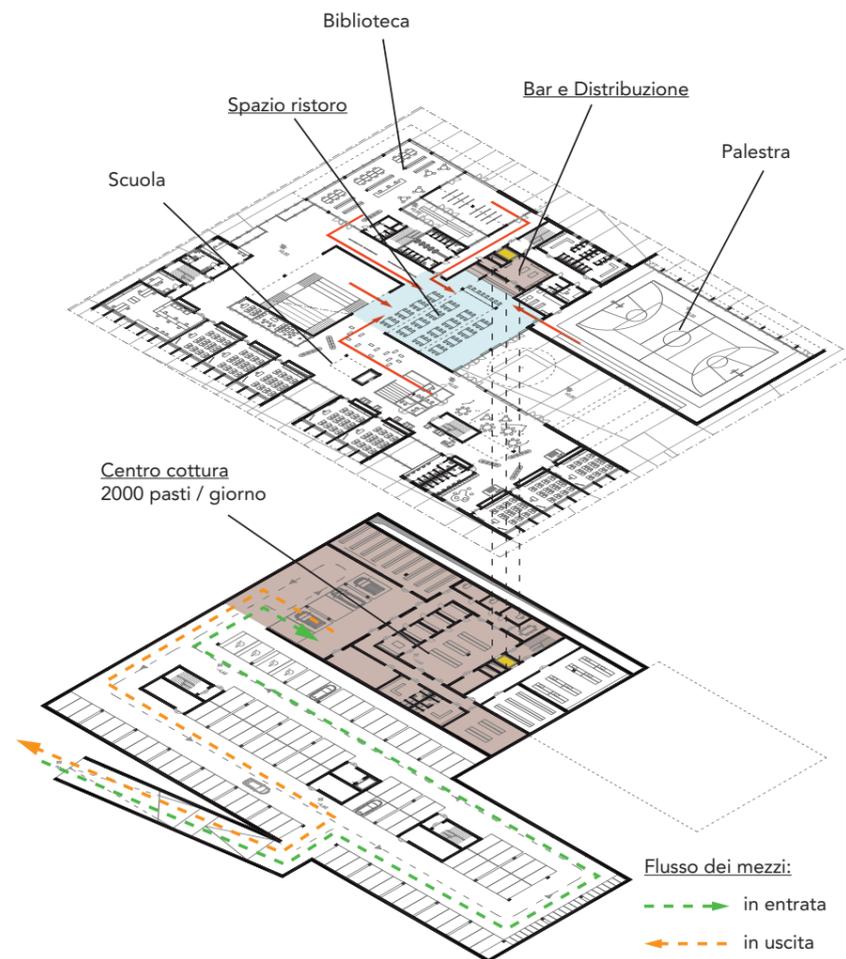
Al primo piano sono presenti gli spazi per la scuola, l'area per la didattica flessibile è più estesa potendo usufruire dello spazio attorno alla gradonata.

La **sala professori** affaccia su questo spazio con una partizione completamente vetrata in modo da avere connessione diretta con tutto l'ambiente, gli studenti possono individuare facilmente i docenti che a loro volta possono avere sotto controllo l'ambiente didattico.

Su questo livello è anche presente uno spazio esterno rappresentato dalla **copertura praticabile** del piano terra che divide l'edificio dal corpo palestra.

I **laboratori** possono essere condivisi con il centro civico, infatti sono collocati nella parte dell'edificio che a piano terra corrisponde con lo spazio espositivo e i locali di servizio della palestra. In questo modo attraverso la scala presente in quest'area sono direttamente collegati ed è possibile accedere ai laboratori anche quando la scuola è chiusa. Protranno quindi essere svolte attività differenti anche in orario serale. Un altro laboratorio è presente in corrispondenza del ponte. Questo elemento appoggia tra due volumi dell'edificio ed è caratterizzato da una posizione con una grande visibilità e un grande rapporto con l'esterno, questa peculiarità fa sì che si possano ospitare attività artistiche che necessitano di uno spazio capace di ispirare la creatività e con un punto di vista sull'esterno.

FIG. 4.3.14  
Rapporti  
tra gli spazi  
dell'edificio,  
la zona ristoro  
e il centro  
cottura



#### 4.6.1.6 Lo spazio ristoro e bar

Al piano terra, accessibile da tutti gli spazi dell'edificio, si trova lo spazio ristoro e bar, è utilizzabile in diversi momenti della giornata, per il consumo dei pasti scolastici o per coadiuvare le attività del centro culturale. Anche questo è un luogo di socializzazione che può assumere diversi aspetti a seconda dell'utenza.

L'accesso da parte della scuola avverrà per il consumo del pranzo e durante l'orario scolastico si possono organizzare delle attività didattiche e sfruttare la disposizione di tavoli e sedie per diverse attività.

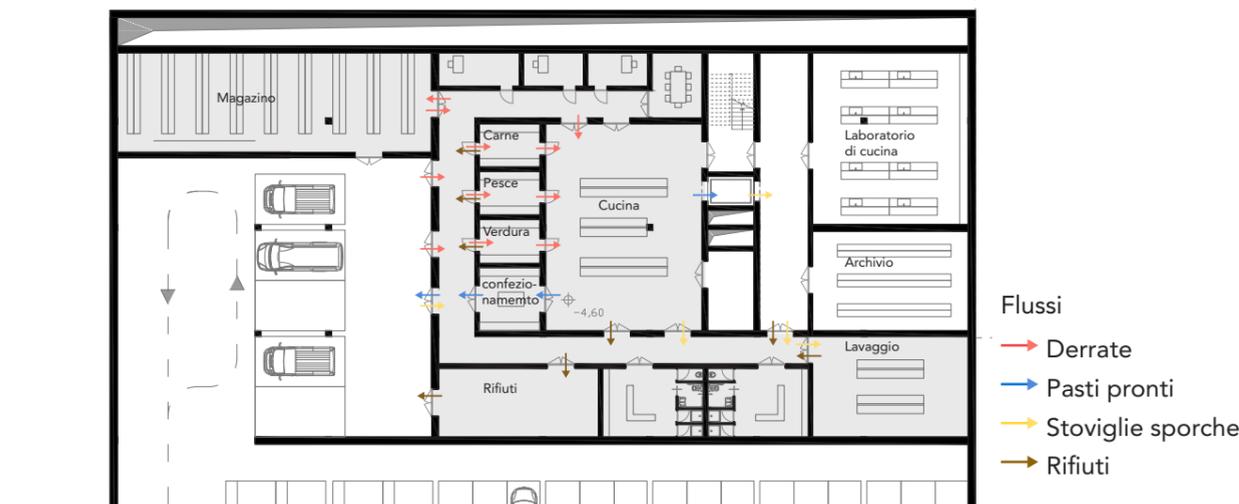
Lo stesso spazio può servire come bar caffetteria a disposizione degli utenti del centro civico e della palestra anche in orari extrascolastici.

La somministrazione del cibo avviene da uno spazio attrezzato per la distribuzione direttamente connesso al centro cottura.

#### 4.6.1.7 Il centro cottura

La produzione dei pasti avviene nello stesso edificio. Il centro cottura, così come richiesto dal bando di concorso, è dimensionato per la produzione di 2000 pasti al giorno, una quantità considerevole che servirà tutte le scuole del territorio. Le dimensioni e l'accezione dello spazio di produzione rischiano di interferire con la natura principale dell'edificio. Si è deciso quindi di riporre una particolare attenzione nel non limitare in alcun modo le funzionalità produttive e di ottimizzarne al massimo il layout in combinazione con le altre attività presenti.

FIG. 4.3.15  
Il centro  
cottura

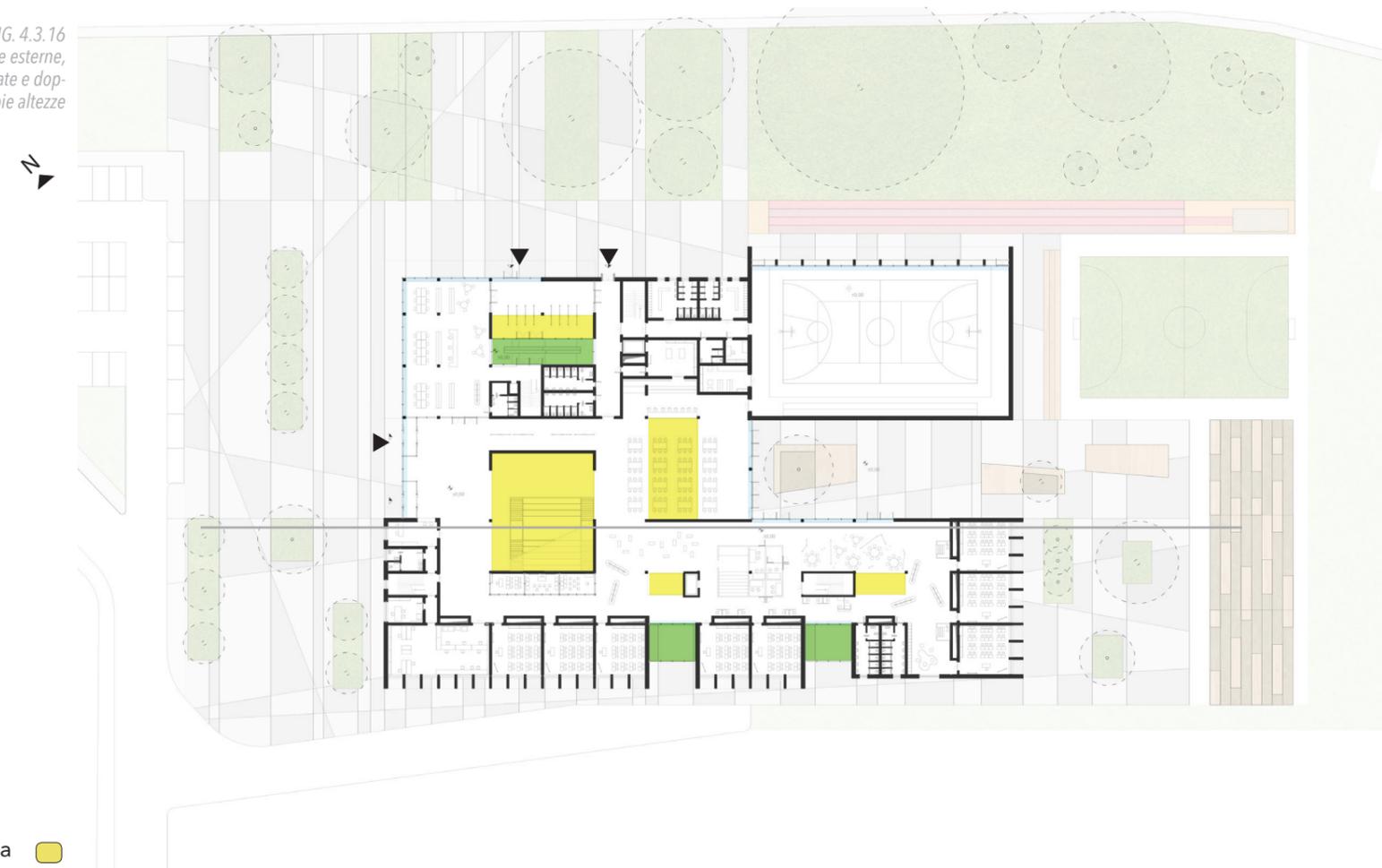
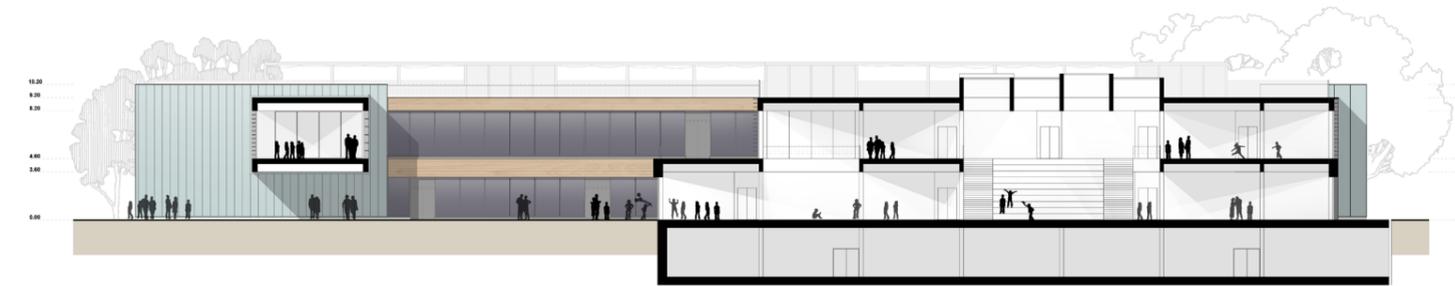


Nel piano interrato il centro cottura può usufruire di una posizione strategica e funzionale, prossima all'accesso carrai per l'approvvigionamento delle materie prime e direttamente collegata con gli spazi di distribuzione al piano terra. Questo collegamento avviene tramite montacarichi che dal piano interrato arriva in un locale adiacente all'area ristoro dove gli studenti consumeranno il pasto. L'organizzazione del centro cottura è studiata per flussi. Seguiamo ora i percorsi delle materie prime e dei prodotti all'interno degli ambienti.

**Le derrate** arrivano in prossimità dello spazio produttivo tramite mezzi su gomma, essi accedono al parcheggio della struttura e successivamente all'area a loro riservata. Una volta scaricate dai mezzi vengono portate all'interno e poi nel magazzino posto in prossimità dell'ingresso. **Le materie prime** al momento del loro utilizzo vengono prelevate dal magazzino

e portate all'interno dei locali di preparazione. Questi sono divisi per tipologia: carne, pesce e verdure. Successivamente raggiungono la cucina dove vengono preparati i pasti. **I pasti pronti** in parte vengono mandati al piano terra tramite il montacarichi per essere consumati nell'edificio, ma la maggior parte viene confezionata nell'apposito locale (in prossimità del parcheggio dei mezzi) e trasporta in altri luoghi di consumo. Stoviglie e pentolame sporchi provenienti dall'esterno, dal piano terra e dai mezzi di trasporto vengono portati direttamente alla **zona lavaggio**. Il flusso dei **rifiuti** è sempre indipendente passando sempre e solo dai corridoi di servizio e non attraverso i locali di produzione.

L'aspetto didattico sull'alimentazione è affrontato nell'adiacente laboratorio di cucina che può essere utilizzato anche la sera per eventi e lezioni.

FIG. 4.3.16  
Aree esterne,  
vetrate e dop-  
pie altezzeDoppia altezza ■FIG. 4.3.17  
Rapporto in-  
terno-esterno

#### 4.6.1.8 Gli spazi esterni e di connessione con l'esterno

Il rapporto con l'esterno è di fondamentale importanza per un edificio scolastico e culturale, deve essere uno dei suoi punti di forza in entrambi i sensi dall'interno verso l'esterno ma anche dall'esterno verso l'interno.

Le aree esterne rispecchiano le funzioni presenti all'interno, così vicino alla biblioteca, punto di incontro tra la comunità locale e l'ambiente scolastico, si trova una piazza rivolta verso la strada ed il centro della città; all'esterno della parte dell'edificio che ospita la palestra sono poste le piste di atletica e il campo da calcio e in prossimità degli ambienti didattici l'esterno presenta fioriere dove ci si può fermare a studiare o a socializzare e infondo si trova l'orto didattico.

In generale gli spazi esterni favoriscono lo sviluppo. Le aree per lo svago ed il gioco di gruppo all'aperto, favoriscono l'attività fisica e la socializzazione. La pedagogia sottolinea anche l'importanza di spazi manipolabili come l'orto, che permette di

sperimentare e di creare, apprendendo dalla natura.

Lo spazio esterno entra all'interno del volume dell'edificio con un grande patio che divide la scuola dalla palestra. L'area ristoro si rivolge su di esso e tutta l'area centrale, compresa la grande gradonata è caratterizzata, sia dall'una che dall'altra parte, da grandi vetrate per creare un'interconnessione visuale esterno-interno.

Il piano terra della biblioteca è completamente vetrato perché deve essere in connessione con la città e quindi totalmente permeabile.

Nello spazio didattico sono presenti due serre per amplificare il rapporto con l'esterno. Queste oltre ad avere funzioni bioclimatiche, creando una doppia pelle, danno la possibilità di usufruire di spazi esterni anche durante la stagione invernale. All'interno di esse si possono coltivare piante ed è possibile osservarle tutto l'anno.

Nella biblioteca, in corrispondenza dello spazio espositivo, un lungo patio porta la luce naturale all'interno del volume del

FIG. 4.3.18  
Pianta delle  
coperture

centro civico creando una connessione con l'ambiente esterno pur essendo al centro dell'edificio.

Gli spazi a doppia altezza creano una maggior consapevolezza tra i volumi e una maggior intervisibilità che rende l'edificio un tutt'uno tra piano terra e piano primo dove lo studente può essere consapevole delle attività svolte e dei confini dell'edificio.

#### 4.6.1.9 La copertura

Il tetto è praticabile e come nel modello di scuola innovativa di Renzo Piano voluta dal Governo, è un luogo da vivere. Ci possono essere laboratori di botanica, di scienze, di meteorologia e astronomia elementare. Dalla quota della copertura si ha un rapporto amplificato con il contesto e in particolare con il

FIG. 4.3.19  
Visuale dalla  
copertura  
verso la piana  
di Rogoredo

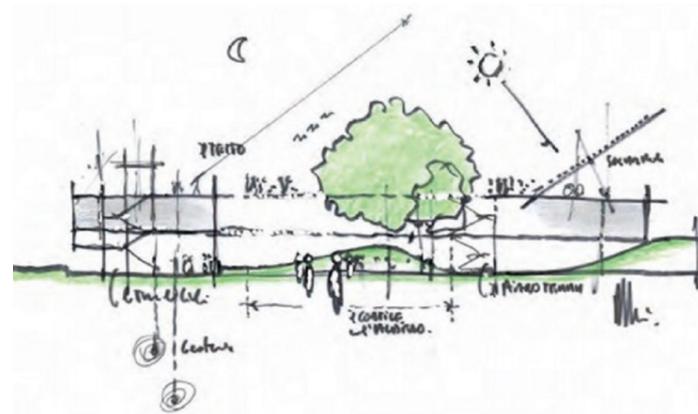
paesaggio naturale verso la piana di Rogoredo.

L'accesso avviene sia dalla scuola che dalla biblioteca, diventa così un luogo per tutti non solo per gli studenti che comunque potranno svolgere qui delle attività in sicurezza.

Salendo sul tetto si possono vedere i pannelli solari fotovoltaici avendo così un riscontro pratico e diretto sulle tematiche della sostenibilità ambientale.

#### 4.6.2 La flessibilità

Nel processo progettuale uno degli obiettivi prefissati è quello di ottenere un edificio flessibile sotto diversi punti di vista. L'attenzione è rivolta a garantire l'adattamento degli

FIG. 4.3.20  
Schizzo del  
modello  
innovativo  
di scuola se-  
condo Renzo  
Piano

spazi e delle attrezzature a seconda delle esigenze che possono riflettersi su diversi archi temporali: breve, medio e lungo termine.

#### 4.6.2.1 La modularità

In fase progettuale si è voluto porre particolare attenzione alla modularità degli spazi, Infatti la regolarità architettonica consente una maggiore flessibilità. In uno spazio razionale è molto più semplice apportare delle modifiche. Negli ultimi anni la costruzione modulare ha avuto un grande sviluppo proprio per queste sue qualità.

Nel nostro caso un quadrato con lato 7,5 m rappresenta il modulo che disegna una maglia regolare su tutto l'edificio.

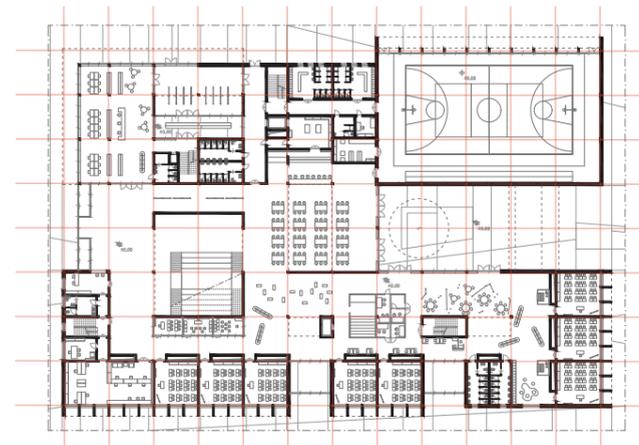
FIG. 4.3.21  
Schema  
architettonico  
modulare

FIG. 4.3.22  
Sviluppo orario del layout

Ore 8.30 - 16.30

Tutto l'edificio è accessibile, ma gli utenti della biblioteca non interferiscono con le attività didattiche.



Ore 16.30 - 19.30

Palestra e biblioteca rimangono aperte, la zona caffetteria può rimanere aperta conservando la propria indipendenza.



Ore 19.30 - 23.00

Le attività sportive possono continuare fino a tarda serata senza impegnare altri ambienti.

FESTIVI

La scuola è accessibile da entrambi gli ingressi non interferendo con biblioteca e palestra.

#### 4.6.2.2 Breve termine

A livello giornaliero o orario le esigenze possono mutare e richiedere un certo livello di flessibilità. Questo vuol dire che in un dato momento potrebbe essere necessario uno spazio aula più ampio e quindi due o tre aule possono essere unite agendo semplicemente sulle pareti mobili. In questo caso il dispositivo che permette di cambiare la configurazione dello spazio, ovvero la parete mobile è azionabile in maniera veloce perché è un'operazione che potrebbe ripetersi più volte durante la stessa giornata.

Questo edificio è stato studiato per la sua proprietà peculiare di accogliere diverse funzioni al suo interno. Le attività scolastiche, culturali e sportive possono essere svolte contemporaneamente interagendo l'una con l'altra, oppure essere contemporanee ma indipendenti o ancora potrebbero avvenire in momenti diversi. Le combinazioni con le quali queste attività possono avvenire sono molte e soprattutto possono generare delle interferenze. Di conseguenza l'edificio ed il proprio layout devono permettere e ottimizzare lo svolgimento di tutte le attività sia che esse avvengano singolarmente sia che avvengano in modo contemporaneo.

La configurazione dell'edificio è in grado di mutare separando o limitando gli accessi alle varie zone, in modo che le attività possano svolgersi e impegnare solamente gli spazi necessari. Le aree dell'edificio possono essere utilizzate parzialmente o totalmente, separatamente o unitamente. Durante una giornata il layout muterà a seconda degli orari.

FIG. 4.3.23  
Esempi di configurazioni possibili del layout

### 4.6.2.3 Medio termine

Con un timing più lungo (settimanale, mensile, tri/quadrimestrale) le necessità possono variare dando luogo a delle modifiche che definiscono nuovi spazi di layout agendo solamente su frontiere come i divisori interni e l'arredamento. L'ambiente ideale per apportare modifiche sul medio termine è l'ambiente didattico al di fuori delle aule che per la maggior parte presenta la propria definizione solo per merito dell'arredamento, agendo su di esso si possono creare all'occorrenza nuovi spazi per nuove esigenze.

### 4.6.2.4 Lungo termine

Immaginando come potrebbero cambiare le esigenze nell'arco di un più ampio margine temporale, bisogna considerare una flessibilità d'uso capace di ridurre al minimo gli interventi necessari per il soddisfacimento delle nuove richieste.

#### DUE SCUOLE IN UN UNICO EDIFICIO

Ancora una volta parliamo dello spazio per la didattica ed in particolare dell'area flessibile che ha preso il posto del corridoio creando un ampio ambiente per differenti tipi di attività. Questa conformazione con un'ottimizzazione dell'organizzazione degli orari con cui si definiscono le attività delle lezioni può accogliere molti più studenti di quelli che possono essere contenuti nelle tradizionali aule. Un esempio concreto è l'Ørestad Gymnasium di Copenhagen che contiene il 40% di studenti in più rispetto a quelli per cui la scuola è stata pensata inizialmente. Nel nostro

caso a questo ambiente sono state affiancate un numero di aule in grado di contenere tutti gli studenti per l'attuale richiesta. Con queste premesse l'edificio in un prossimo futuro potrebbe ospitare anche gli studenti dell'adiacente scuola primaria dedicandogli l'intero piano terra in modo da poter separare gli studenti delle due scuole. La commistione tra due scuole di grado differente è anche una grande opportunità per sviluppare un nuovo modello di scuola condivisa tra istituti di diverso grado, in linea anche con l'impostazione verticale amministrativa che già oggi esiste ma che dovrebbe riflettersi anche sull'aspetto didattico.

#### AMPLIAMENTO

La modularità architettonica si riflette sulle strutture e sugli impianti, che si conformano in maniera semplice e chiara. Quindi anch'essi sono flessibili e facilmente modificabili conservando le proprie funzionalità.

La parte con la più alta probabilità di un futuro ampliamento è la scuola. La conformazione allungata e modulare rende possibile un ampliamento in lunghezza senza modificare lo schema distributivo e la struttura esistente.

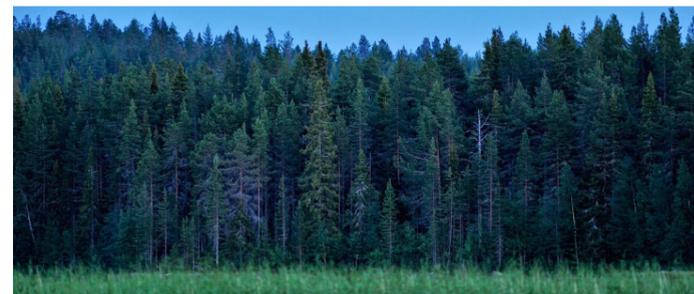
05

LE STRUTTURE

## 5.1 IL LEGNO

### 5.1.1 Un materiale naturale

FIG. 5.1.1  
Foresta di  
conifere  
finlandese



Uno dei processi fondamentali per la vita sulla terra è rappresentato dalla capacità che hanno le piante di sintetizzare, nelle loro parti verdi, zuccheri a partire dall'acqua e dell'anidride carbonica dell'atmosfera, utilizzando la luce del sole.

L'attività vegetativa degli alberi infatti, attraverso accrescimento primario e secondario, ovvero altezza e diametro del fusto, contribuisce alla formazione, ad ogni stagione, di successivi cerchi concentrici di conoidi legnosi.

Il tessuto di questi elementi è composto essenzialmente da emicellulosa e fibre di cellulosa trattenute da una matrice di lignina prodotto dalla pianta come elemento strutturale, dalle ottime caratteristiche di robustezza e resistenza. L'organizzazione della sua struttura è tale da garantire a questo

materiale caratteristiche meccaniche notevoli rispetto ad altri materiali da costruzione, se considerate in rapporto alla massa degli elementi necessari a svolgere determinate funzioni statiche, sia in natura che in strutture artificiali, ed è per questo che viene impiegato utilmente dall'uomo.

Le principali caratteristiche anatomiche di questo materiale possono essere facilmente notate ad occhio nudo osservando la sezione di un tronco d'albero.

Dall'esterno all'interno si possono evidenziare parti con funzioni differenti:

**Corteccia:** è fisiologicamente morta e serve come protezione alla pianta consentendo gli scambi gassosi necessari alla vita della pianta;

**Libro:** contiene i vasi che conducono la linfa, ovvero il nutrimento sintetizzato dalle foglie ad ogni parte dell'albero;

**Cambio:** è formato da cellule che producono i tessuti dell'alburno ovvero nuovo legno;

**Alburno:** è legno in formazione composto da cellule vive che costituiscono l'apparato circolatorio della pianta;

**Durame:** la parte più interna del tronco perfettamente lignificata formata da cellule morte che a livello commerciale rappresenta quella più pregiata;

**Midollo:** è la parte centrale del tronco, generalmente poco

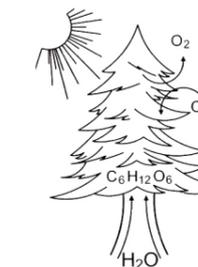


FIG. 5.1.2  
Processo di fotosintesi

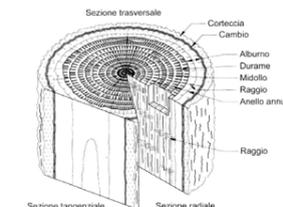


FIG. 5.1.3  
Sezione di un tronco

*“Ogni scuola dovrà essere un presidio di sostenibilità [...] Si deve costruire con leggerezza, risparmiando risorse e scegliendo materiali in grado di rigenerarsi in natura [...] La scelta ideale è il legno: bello, sicuro, antisismico e profumato. Ma innanzitutto è energia rinnovabile. Basta piantare alberi per garantire la sostenibilità del progetto: nel giro di 20 o 30 anni, dipende dall'essenza, si ha di nuovo l'equivalente del legno usato. Per ogni metro cubo di legno impiegato ci vuole una giovane pianta. Il lavoro lo fanno poi la pioggia, il sole e la terra. Si possono creare boschi e spiegare ai ragazzi che il legno usato per la loro scuola, in questo caso 500 metri cubi, è stato sostituito da quella piccola foresta di 500 alberi. In ogni regione nasceranno così nuovi boschi, in base alle essenze del territorio.”*

Renzo Piano, in *La domenica sul sole* 24 ore, 9 ottobre 2015

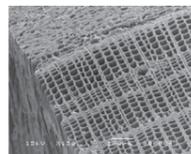


FIG. 5.1.4  
Fibre legnose a microscopio

differenziabile dal durame che lo contiene.

Nella pianta in piedi solo una piccola parte di esse è viva: si tratta di uno strato di poche cellule detto cambio, responsabile della formazione di tessuti legnosi verso l'interno (xilema), che hanno principalmente funzioni di sostegno e di trasporto della linfa grezza dalle radici alla chioma. Questo tipo di attività "generativa" di cellule morte avviene in tutti gli alberi e nelle applicazioni tecnologiche tutte queste cellule sono indicate con un termine generico di "fibre legnose"; nelle conifere le tracheidi costituiscono circa il 95% del volume totale del legno omoxilo, mentre nelle latifoglie possono arrivare fino al 50% del volume del legno eteroxilo.

Le fibre legnose sono assimilabili a dei prismi tubolari organizzate nello spazio come in *Figura 5.1.4*.

La parete cellulare di questi elementi è divisa in parete primaria e parete secondaria, ed è costituita da un'impalcatura di microfibre di cellulosa che fa da sostegno, ed incrostazioni di

sostanze diverse.

In *Figura 5.1.5* viene indicato schematicamente la struttura cellulare delle fibre legnose.

Immediatamente a contatto con la lamella mediana c'è la parete primaria P (costituente mediamente il 3% dello spessore totale della parete cellulare), in cui sono presenti microfibrille di cellulosa disposte in maniera disordinata. La parete secondaria S è organizzata in strati differenti, ognuno risultante dall'insieme di lamelle distinte.

Dal punto di vista ingegneristico il materiale di cui è composta la parete cellulare è assimilabile ad un composto con una matrice (lignina). In cui sono disposti gli elementi fibrosi ad alta resistenza meccanica (microfibrille).

La prevalenza dello strato S2 (*Figura 5.1.6*) fa sì che questo determini gran parte delle caratteristiche del legno. La giacitura delle sue microfibrille, che sono la grande maggioranza, è alla base delle elevate caratteristiche di resistenza a trazione del

FIG. 5.1.5  
Particolare anatomico della fibra legnosa

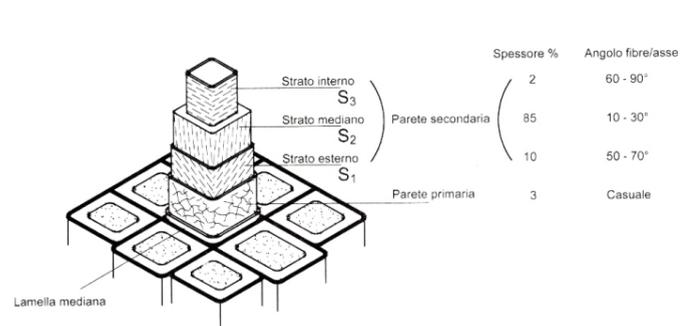
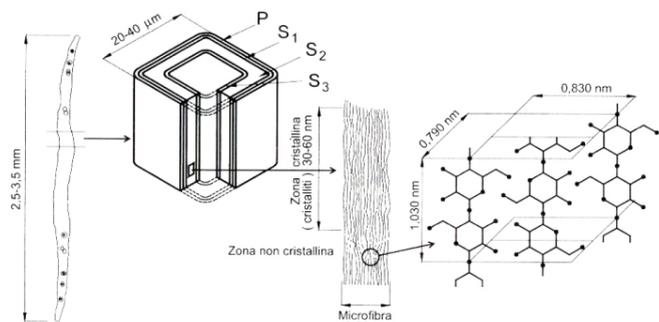


FIG. 5.1.6  
Organizzazione e struttura delle fibre del legno

legno.

## 5.1.2 Proprietà del materiale

### 5.1.2.1 Comportamento igroscopico

Il legno è un materiale igroscopico ovvero mostra grande affinità con l'acqua. Questo materiale può contenere acqua in quantità variabili a seconda della struttura fisica del materiale

$$Umidità\% = \frac{\text{peso a umido} - \text{peso a secco}}{\text{peso a secco}} \times 100$$

poroso e della sua natura chimica.

Per convenzione, l'umidità nel legno viene definita come percentuale in peso dell'acqua rispetto al legno essiccato:

Con legno verde si indica la condizione di umidità presente al momento del taglio che in genere varia tra il 60% e il 200% in funzione del tipo di legno in base al periodo dell'anno. Con il tempo il materiale tende a cedere acqua e a raggiungere un valore di equilibrio con l'umidità dell'ambiente. Spesso si assume come riferimento un'umidità relativa del 65% a temperatura di 25°C.

L'acqua presente nel legno è assorbita nelle pareti delle cellule mentre la restante è libera e si trova nel lume. Durante l'essiccamento viene prima allontanata l'acqua contenuta nelle cavità mentre poi, con valori solitamente attorno al 30%, quella assorbita nelle pareti.

Nella prima fase il legno non subisce sostanziali variazioni mentre, l'ulteriore essiccamento sotto al punto di saturazione, consente alla struttura macromolecolare di compattarsi e formare nuovi legami a idrogeno. In particolare ha qui luogo un ritiro dimensionale, accompagnato da un aumento delle densità e della resistenza meccanica oltre che dalla possibilità di deformazioni. Dopo il taglio dell'albero è necessario un processo di stagionatura, naturale o artificiale in essiccatoi, con l'obiettivo di portare il legno ad un valore di umidità il più possibile prossimo a quello che assumerà nell'ambiente di utilizzo.

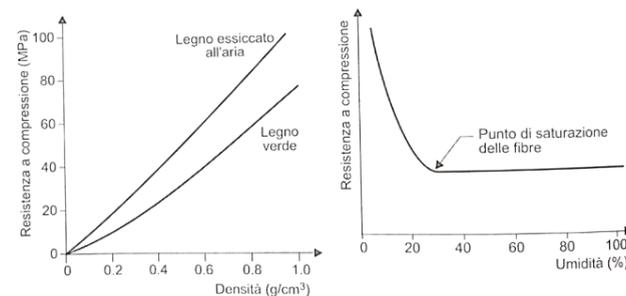
L'igroscopia del materiale comporta variazioni dell'umidità anche dopo la stagionatura in funzione delle condizioni ambientali. Partendo dalla superficie infatti, scambia continuamente molecole di acqua con l'aria che lo circonda e tende sempre ad equilibrarsi alle condizioni climatiche dell'ambiente in cui è immerso. La *Tabella 5.1.1* fornisce il valore di umidità a cui il legno tende spontaneamente ad equilibrarsi in funzione della

Temperatura dell'aria in °C	Umidità relativa dell'aria in %																			
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
0	1	3	4	5	6	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	17	19	22	27	33
10	1	3	4	5	5	6	7	8	9	10	10	11	12	14	15	17	19	22	26	32
20	1	3	4	5	5	6	7	8	9	9	10	11	12	13	15	16	18	21	25	31
30	1	2	3	4	5	6	7	7	8	9	10	11	12	13	14	16	18	20	24	30
40	1	2	3	4	5	6	6	7	8	9	9	10	11	12	13	15	17	19	23	29
50	1	2	3	4	5	5	6	7	7	8	9	10	10	11	13	14	16	18	22	28
60	1	2	3	3	4	5	5	6	7	7	8	9	10	11	12	14	15	17	21	27
70	1	2	2	3	4	4	5	6	6	7	7	8	9	10	11	13	14	16	20	26
80	1	1	2	3	3	4	4	5	6	6	7	7	8	9	10	12	13	15	19	25
90	1	1	2	2	3	3	4	4	5	6	6	7	8	8	9	11	12	14	18	24

TAB 5.1.1  
Umidità di equilibrio del legno

temperatura (in gradi centigradi) e dell'umidità relativa (in percentuale) del clima dell'ambiente di stoccaggio.

FIG. 5.1.7  
Legame tra  
resistenza a  
compressione,  
densità e  
umidità



### 5.1.2.2 Resistenza meccanica

Nelle diverse applicazioni del legno possono essere importanti la resistenza a compressione, a trazione (in genere valutata con prove di flessione), a taglio, a abrasione ecc.

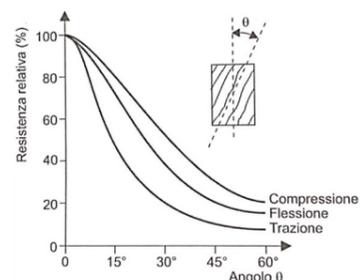
A causa della sua struttura non omogenea, dell'igroscopicità e della presenza di difetti, il legno presenta valori di resistenza molto variabili. Avendo inoltre un comportamento viscoelastico

i risultati dipendono anche dalle condizioni di prova. I principali fattori che determinano la resistenza meccanica del legno sono: la densità, il contenuto di umidità, la direzione di sollecitazione e i difetti.

La densità del legno è direttamente correlata alla sua resistenza meccanica, in quanto è legata allo spessore della parete delle cellule. In *Figura 5.1.7* è riportato il legame tra la resistenza a compressione e la densità del legno verde oltre che dopo essiccamento in aria. L'effetto dell'umidità invece si manifesta solo sotto il punto di saturazione delle fibre come si può osservare sul grafico di destra (*Figura 5.1.7*).

La struttura del legno determina un comportamento meccanico fortemente anisotropo. L'allineamento pressoché longitudinale delle microfibrille che costituiscono le pareti delle cellulose determina una resistenza, sia a trazione sia a compressione, considerevolmente maggiore in direzione longitudinale rispetto alla direzione perpendicolare delle fibre.

La rimozione dell'acqua contenuta nella cavità delle cellule non ha alcun effetto sulla resistenza a compressione, mentre



TAB 5.1.8  
Resistenza  
relativa  
all'angolo di  
applicazione  
della forza

il successivo allontanamento dell'acqua assorbita nelle pareti comporta un aumento della resistenza.

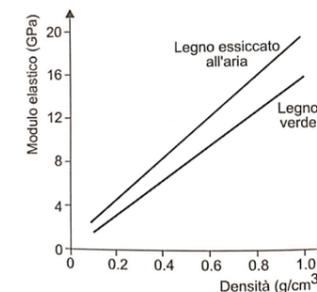
La *Figura 5.1.8* mostra che la resistenza a trazione è più sensibile alla variazione dell'angolo di applicazione del carico di quella a compressione. La resistenza meccanica di un legno viene in genere valutata su provini esenti da difetti mentre nel comportamento reale, la loro presenza, modificando la direzione delle fibre, modifica la struttura del legno e dunque le sue proprietà meccaniche.

### 5.1.2.3 Deformazioni sotto carico

Le deformazioni del legno dipendono, oltre da umidità e temperatura, anche degli sforzi applicati interagendo tra loro in modo complesso.

Poiché il legno ha un comportamento viscoelastico, la deformazione che subisce sotto carico è dipendente dal tempo.

FIG. 5.1.9  
Rapporto mo-  
dulo elastico/  
densità nel  
legno



L'entità delle deformazioni e la velocità de deformazione di tipo viscoso dipendono da molti fattori sia del legno (densità e orientamento delle microfibrille nella parete cellulare) sia ambientali (temperatura e umidità relativa).

Per applicazioni strutturali è necessario valutare le deformazioni del legno soggetta a carichi di esercizio considerando generalmente il modulo elastico E0 valutato con prove di flessione di breve durata. Questo parametro presenta una

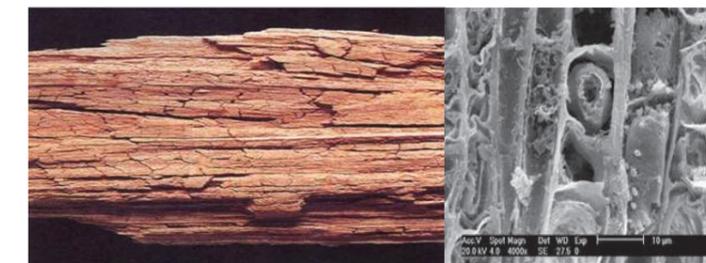


FIG. 5.1.10  
Effetti del  
degrado  
biologico

dipendenza dalla densità e dal contenuto di umidità analoga a quella della resistenza a compressione. In *Figura 5.1.9* è riportato l'andamento del modulo elastico in funzione della densità del legno.

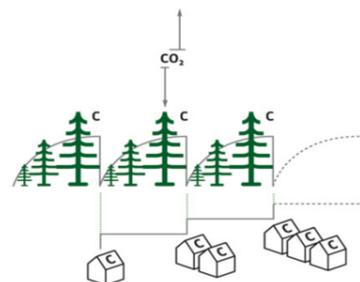
### 5.1.2.4 Biodegradamento

Il tipo di attacco più frequente per il legno è quello biologico che avviene soprattutto per opera di funghi e insetti.

I funghi possono portare alla decomposizione del legno in seguito all'attacco chimico di alcune o tutte le componenti delle cellule mentre gli insetti xilofagi adulti possono mangiarle. La

resistenza di un legno a questo tipo di attacco dipende oltre che dall'ambiente dalla tipologia del legname. In ambiente secco generalmente si comporta bene, anche quando viene

FIG. 5.1.11  
Trasformazione della CO<sub>2</sub> nel ciclo di vita delle piante



mantenuto permanentemente in acqua. Particolarmente critici risultano invece essere gli ambienti caratterizzati da aria molto umida soprattutto quando il legno è soggetto a cicli di asciugamento-bagnamento. Uno dei metodi più utilizzati per la protezione da attacchi biologici è l'impregnazione con sostanze preservanti.

In assenza di attacchi biologici, gli agenti atmosferici quali radiazione solare, pioggia e vento, limitano i loro effetti a uno strato superficiale del materiale grazie alla protezione che le cellule degradate svolgono con le sottostanti.

## 5.1.3 Una risorsa sostenibile

### 5.1.3.1 Clima e CO<sub>2</sub>

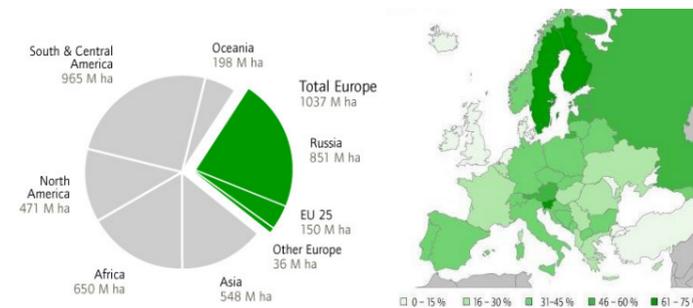
L'albero, in quanto organismo vivente, durante la sua crescita assorbe dall'atmosfera una sostanza estremamente nociva per il clima, l'anidride carbonica (CO<sub>2</sub>), che viene poi trasformata in carbonio e ossigeno (O). Quest'ultimo, rilasciato nell'ambiente in forma gassosa, si miscela con l'azoto contenuto nell'atmosfera in un rapporto del 78:21%, generando l'aria che respiriamo. Il carbonio (C) invece rimane imprigionato nell'albero e costituisce l'impalcatura del processo di crescita organica.

Fino a quanto il legno marcisce o viene bruciato, tutta la CO<sub>2</sub> sottratta all'ambiente, rimane nell'albero o in qualsiasi suo derivato. Pertanto non solo i boschi, ma anche le opere edili, i mobili o addirittura i giocattoli in legno rappresentano una preziosa riserva di carbonio che offre un contributo essenziale alla riduzione del contenuto di CO<sub>2</sub> dell'atmosfera. Al termine del suo ciclo di vita, a differenza di altri prodotti, può essere riutilizzato anche per scopi energetici.



TAB 5.1.12  
Legno PEFC da gestione sostenibile delle foreste

FIG. 5.1.13  
Distribuzione del patrimonio forestale nel mondo ed in Europa



L'aumento dell'impiego del legno risulta essere un fattore determinante nella riduzione globale delle emissioni di CO<sub>2</sub> e rappresenta pertanto una strategia essenziale ed efficace per la tutela del clima. La sostituzione di quanti più prodotti possibili con il legno risulta essere ragionevolmente una strada da percorrere per permettere il perseverare delle vite sulla terra.

### 5.1.3.2 Gestione sostenibile delle foreste

Il settore forestale europeo copre circa il 25% dell'attuale produzione mondiale di prodotti forestali e circa il 30% dei pannelli a base di legno, carta e cartone.

La vastità delle foreste in Europa è oltre 1 miliardo di ettari e sebbene la domanda di prodotti forestali sia in costante crescita le sue foreste si stanno espandendo di 510.000 ettari l'anno. Attualmente nelle foreste europee ci sono 20 miliardi di metri cubi di legno e solo il 64% del loro incremento annuale viene tagliato. Gli oltre 645 milioni di metri cubi di legno che ricrescono ogni anno ci permettono di dire che il legno, in

Europa, può essere considerato una risorsa inesauribile.

Il concetto di gestione sostenibile delle foreste, definito nel 1993 nella Conferenza Interministeriale pan-europea sulla protezione delle foreste in Europa cita: "la gestione e l'utilizzo delle foreste deve essere operato con modalità e livelli tali da salvaguardare la loro produttività, biodiversità, capacità di rigenerazione, vitalità e la loro capacità di svolgere, oggi e in futuro, le loro funzioni ecologiche, economiche e sociali a livello locale, nazionale e globale, senza recare danni ad altri ecosistemi". Oltre ad aspetti sociali e ambientali, vengono quindi considerati il cambiamento climatico, l'inquinamento, l'utilizzo del territorio, la protezione e certificazione delle biodiversità, la produzione di legno, la risorsa acqua.

La stessa industria forestale europea riconosce che il suo futuro è indissolubilmente legato alla protezione ed espansione delle foreste ed ogni anno, il numero di alberi piantati è e sarà sempre maggiore di quelli tagliati.

## 5.2 IL LEGNO LAMELLARE INCOLLATO

### 5.2.1 Storia e sviluppo

Con il termine legno lamellare incollato si intende un prodotto a base di legno costituito da segati sovrapposti e talvolta anche affiancati, di spessore relativamente modesto (non superiore ai 50 mm) rispetto alla sezione dell'intero elemento, che vengono uniti tra di loro per formare una sezione composta per mezzo di adesivi in grado di garantire resistenza e durabilità nel tempo. La nascita di questa tecnologia è dovuta alle forti limitazioni di forma e dimensione tipica dei segati strutturali e dalle richieste di elementi lignei in esecuzione composta. Sebbene ad un primo esame possa apparire irrazionale suddividere i tronchi in lamelle per procedere successivamente alla loro ricomposizione, risulta

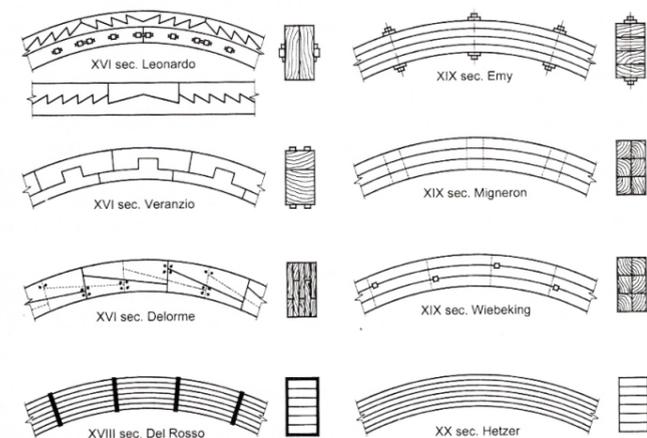


FIG. 5.2.2  
Cronologia  
dello sviluppo  
di sistemi  
composti in  
legno

evidente come si possano in questo modo ottenere elementi lignei di dimensioni notevoli in lunghezza e sezione rispetto a quanto si possa trovare in natura.

Fu Leonardo Da Vinci, genio inventore Italiano, con la sua precisa intuizione del legame tra la cosiddetta "efficienza" di struttura composta e la rigidità dei mezzi di collegamento, ad adottare questo sistema. Dai suoi studi in materia, tutte le strutture lignee composte realizzate a partire dal XVI secolo sfruttarono a fondo l'idea del collegamento mediante biette di legno duro accoppiate a staffature e chiodature metalliche. Dal XIX secolo fu il problema delle grandi strutture degli

impalcati per ponti a sollecitare la fantasia inventiva dei vari progettisti per superare le limitazioni tipiche dell'elemento massiccio.

Il collegamento tra i diversi componenti del pacchetto mediante staffe metalliche, chiodature o biette, rappresentava la vera criticità del sistema fino a che, nel 1905, la ricerca e la sperimentazione tecnologica condussero all'introduzione di una nuova tecnica di "connessione diffusa" mediante l'impiego di collanti che prese il nome di brevetto Hetzer dal suo scopritore. In Italia la tecnologia del lamellare comincia timidamente a prendere piede negli anni '30 con delle interessanti applicazioni su ponti e capannoni industriali di grandi luci.

### 5.2.2 I vantaggi del legno lamellare strutturale

Come già anticipato nel paragrafo precedente la tecnologia del legno lamellare incollato viene introdotta per risolvere il problema delle limitazioni di forma e dimensione del legno massiccio e dunque ad un'ottimizzazione della materia prima. Nella trattazione di quelli che sono effettivamente i vantaggi di questa tecnologia è più opportuno partire da alcune

FIG. 5.2.3  
Legno massiccio e legno lamellare a confronto

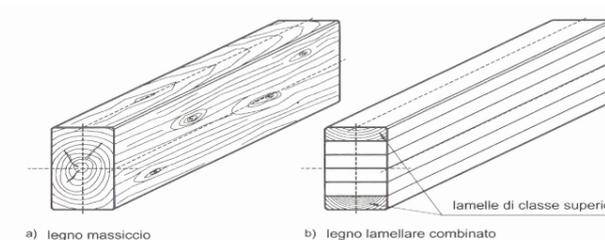


FIG. 5.2.4  
Composizione  
a pacchetto  
degli strati di  
lamelle

considerazioni statiche/costruttive. Generalmente il legno massiccio è caratterizzato da difetti di varia natura che influiscono pesantemente sulle resistenze meccaniche all'interno dell'elemento e che comunemente sono responsabili della rottura dell'elemento sottoposto a determinate azioni sollecitanti. Tali contaminazioni nella materia sono rappresentate dalla presenza di nodi che nel caso della suddivisione in tavole dello stesso elemento, per una sua successiva ricomposizione in legno lamellare incollato, possono essere eliminate scartando le tavole qualitativamente non idonee. Lo spessore della lamella limita inoltre la dimensione massima del difetto in senso ortogonale al piano di laminazione ed il risultato finale è quello di un materiale qualitativamente più omogeneo, i cui parametri

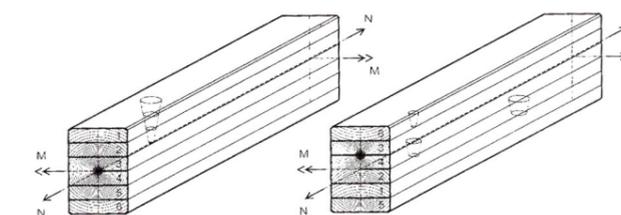


FIG. 5.2.5  
Ottimizzazione  
dei difetti  
del legno  
massiccio  
nella sua  
ricomposizione

FIG. 5.2.1  
Ing. Miozzi,  
1932, Ponte  
sul Rio Novo a  
Venezia



di resistenza quali trazione, compressione e flessione, hanno dispersione dei valori mediamente molto più basse rispetto al legno massiccio. Un ulteriore vantaggio del montaggio di tavole per la formazione di una trave composta consiste nel posizionare le lamelle meno forti nelle zone meno sollecitate della sezione e viceversa per quelle selezionate come migliori. Una riflessione volge infine all'importante fase del procedimento di stagionatura che, per la dimensione degli elementi unitari, può essere controllato in modo artificiale limitando i gradienti di umidità all'interno della tavola e garantendo anche una migliore efficienza degli adesivi di giunzione che operano con valori di umidità prossimi al 12%. Il legno lamellare, grazie dunque alle sue caratteristiche più costanti e omogenee rispetto al legno massiccio, può garantire una maggior durabilità.

## 5.2.3 La produzione

### 5.2.3.1 Generalità

Il processo di produzione del legno lamellare incollato è l'insieme delle operazioni eseguite in appositi stabilimenti, che consistono essenzialmente nella riduzione del tronco in assi e nella loro ricomposizione, tramite incollaggio, fino a dare origine a elementi di forma e dimensione prestabilita. Il prodotto che si ricava alla fine di questo processo produttivo dà luogo a un nuovo materiale solo lontanamente parente del legno da cui deriva raggiungendo dei requisiti prestazionali

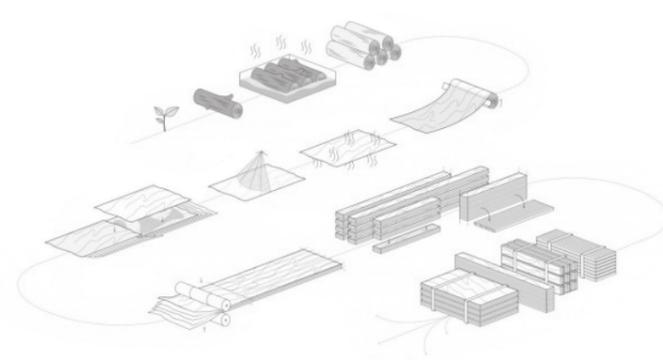


FIG. 5.2.6  
I passaggi del  
processo di  
produzione  
del legno  
lamellare

paragonabili a quelli dei migliori materiali per l'edilizia moderna. Poiché il mercato edilizio richiede oggi materiali di qualità che sappiano rispondere a requisiti prefissati, il controllo delle operazioni di sagomatura, stagionatura ed incollaggio degli elementi strutturali è di fondamentale importanza.

### 5.2.3.2 Essiccazione delle tavole

L'essiccazione è l'operazione tesa a ottenere quel grado di umidità del legno compatibile col tipo di colla e alla destinazione delle strutture. Generalmente essa deve essere compresa fra il 7% e il 16%, e non deve superare il 4% tra due lamelle successive. Questi valori derivano dagli effetti della dilatazione causata dall'umidità che, nonostante sia ininfluenza in direzione assiale, può determinare sensibili variazioni nella direzione trasversale, determinando vere e proprie criticità nella tenuta delle unioni degli elementi di grande altezza.

Se si pensa al legno come un materiale organico e vivo, è chiara l'importanza delle condizioni dell'ambiente di lavorazione. Il controllo qualità consiste nel monitorare continuamente temperatura e umidità delle lamelle in relazione allo stato igroscopico del materiale per garantire la produzione di elementi di qualità ottimale. Queste verifiche sono condotte in tutte le fasi della lavorazione, dal deposito delle lamelle alla loro intestazione, dalla piallatura all'incollaggio, ed infine nella fase di sovrapposizione e pressaggio.

La selezione delle tavole viene effettuata attraverso un controllo visivo su eventuali difetti del legno come ad esempio l'eccessivo numero di nodi, imbarcamenti, inclinazione delle fibre, cipollature, ecc.

### 5.2.3.3 Larghezza e spessore delle lamelle

Teoricamente non esistono limitazioni dimensionali per l'elemento trave in legno lamellare, né in lunghezza, né in senso trasversale, sia in un numero di tavole sovrapposte, sia come numero di tavole affiancate e giuntate anche lungo il bordo longitudinale per realizzare larghezza di sezioni maggiori. Le uniche limitazioni dimensionali sono legate ai macchinari

FIG. 5.2.7  
Spessore  
normato  
della lamella  
EN386



utilizzati nell'industria e al trasporto su strada, limitazione comune a qualsiasi struttura prefabbricata. Dal punto di vista normativo la norma europea EN 386 pone i limiti di spessore e sezione in funzione della "classe di servizio" a cui è destinato l'elemento. A seconda del suo impiego gli spessori delle singole lamelle devono essere compresi tra 45÷35 mm mentre le sezioni tra 12000 e 10000 mm<sup>2</sup>.

### 5.2.3.4 Giuntura di testa delle tavole

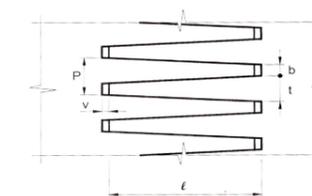


FIG. 5.2.8  
Particolare del  
giunto di testa  
a pettine

Per ottenere le lamelle necessarie alla realizzazione di un elemento strutturale è necessario ricorrere alla giunzione di testa delle singole tavole. Poiché un giunto incollato deve essere sollecitato a taglio nel suo piano e non a trazione il metodo comunemente più utilizzato è il cosiddetto "a dita" o "a pettine". La realizzazione di questo sistema consiste, per questioni di semplicità esecutiva, nella fresatura del tavolame nel senso della larghezza della lamella. I denti che formano il giunto a pettine presentano una forma trapezia, con base minore molto più piccola; all'atto del serraggio le due testate di tavole congiunte si incastrano l'una nell'altra, lasciando in



FIG. 5.2.9  
Fresatura della tavola



FIG. 5.2.10  
Fresatura della tavola

corrispondenza del vertice del tenone una piccola cavità.

In relazione alla lunghezza dei denti si è soliti distinguere i giunti in normali ( $l = 20 \div 70$  mm) e a minidita ( $l < 20$  mm). Eseguito il taglio e cosparsa la colla si esegue il serraggio delle estremità delle tavole con una pressione che varia in funzione della dimensione dei denti. In questa fase, a causa dalle variazioni di umidità del legno e dell'azione ossidativa dell'aria tendente a inattivare le superfici da incollare, è possibile l'insorgere di deformazioni in grado di compromettere l'utilizzabilità dell'elemento nelle successive fasi.

### 5.2.3.5 Incollaggio delle lamelle e formazione del pacco

La fase precedente l'incollaggio ottimale "di faccia" e l'accoppiamento delle lamelle "a pacco" è la piallatura delle tavole per garantire una superficie regolare ( $8 \div 10$  mm per lamelle di spessore  $\leq 25$  mm e di  $4 \div 10$  per spessori maggiori) e omogenea in spessore ( $2 \div 10$  mm). Successivamente viene poi spalmato uno strato uniforme di colla mediante sistemi a estrusione nei quali la miscela collante fluisce sotto forma di sottili filamenti molto fluidi. Le tavole vengono poi sovrapposte a coltello fino ad ottenere la configurazione di progetto dell'elemento lamellare per poi essere pressate fra contrasti disposti in modo opportuno con una pressione di incollaggio di circa  $8 \text{ kg/cm}^2$ . Per garantire l'omogeneità dell'elemento di rilevante importanza risulta essere la corretta disposizione dei giunti tra le tavole all'interno del pacco. Per ovviare

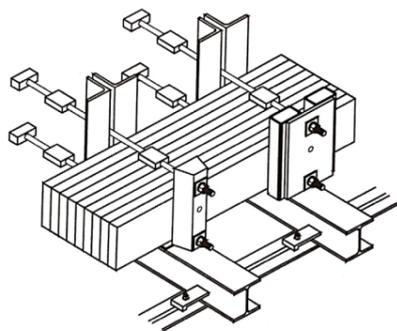


FIG. 5.2.11  
Schema di un  
dispositivo  
di serraggio  
del pacco di  
lamelle

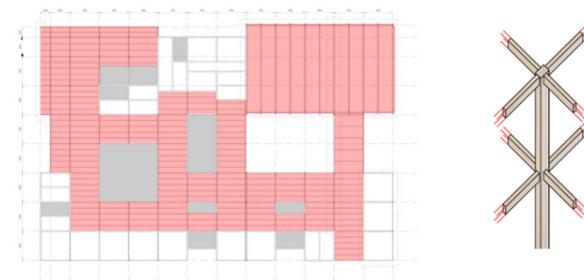
all'incertezza provocata da questo difetto artificialmente creato bisogna rispettare una distanza orizzontale tra i giunti di lamelle sovrapposte che sia inferiore ad un rapporto con il loro spessore. Dopo 12 ore da quando il manufatto viene messo sotto la pressa si può disarmare il sistema e il pacco può passare al reparto finitura dove, attraverso un'ulteriore operazione di piallatura delle superfici, si garantisce l'eliminazione delle tracce di miscela collante fuoriuscita dal corpo dell'elemento oltre che delle irregolarità di forma della struttura dovuta alla composizione del pacco. A seguire una profilatura dei bordi ed un'eventuale impregnazione o verniciatura porta all'ottenimento di un elemento pressoché perfetto.

## 5.2.4 Sistemi strutturali di progetto

### 5.2.4.1 Sistemi trave-pilastro

Una delle immagini che più caratterizzò il dibattito teorico all'interno del neoclassicismo europeo nel XVII secolo ed in particolare il pensiero di Marc-Antoine Laugier, teorico dell'architettura e storico dell'architettura francese, è la "capanna primitiva". Archetipo in legno delle costruzioni umane e degli ordini architettonici, questa rappresentazione viene utilizzata dal critico per esporre nel 1753 la prima edizione de l' "Essai sur l'architecture". La riflessione di Laugier si basa sulla convinzione che la natura sia il principio originario dell'architettura e della teoria dell'architettura. Secondo i principi dell'illuminismo infatti tutto è regolato dalla ragione e dunque anche l'architettura non può che essere naturale. Il legno dunque, annoverato tra i più antichi materiali da costruzione, riprende il proprio sviluppo con l'architettura moderna grazie all'invenzione del lamellare. Grazie allo

FIG. 5.2.12  
Impiego di  
travi-pilastrini al  
Piano Terra



sviluppo di questa tecnologia le dimensioni del reticolo strutturale rese possibili dal posizionamento di travi e colonne a grandi interassi, apre nuovi e ampi spazi in linea con le attuali concezioni di utilizzo dello spazio interno. I carichi del sistema trave pilastro vengono assorbiti da elementi strutturali di tipo lineare, che possono rimanere a vista.

Nella fase progettuale è opportuno scegliere un modulo di base che sia in grado di essere moltiplicato per formare un reticolo che viene definito in base all'utilizzazione degli spazi, alle dimensioni dell'edificio e dei locali, e all'organizzazione architettonica. Le dimensioni consuete di questo reticolo sono molto variabili e dipendono dalle luci libere nelle direzioni portanti principale e secondaria che, a seconda del tipo di costruzione, sono comprese tra 3,0 m e 8,0 m. La scelta della tipologia costruttiva è in stretta relazione alla struttura di colonne e travi, degli elementi di connessione, e, da una parte, anche dagli aspetti architettonici e del reticolo in pianta e dall'altra dai carichi.

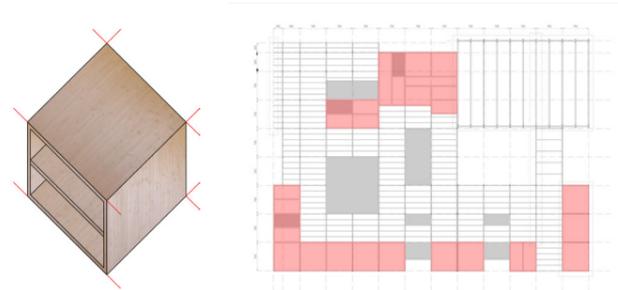
### 5.2.4.1 Sistemi massicci con pannelli XLAM

I pannelli XLAM vedono per la prima volta luce sul mercato austriaco e tedesco alla fine degli anni '90 quale evoluzione ultima nello sviluppo di elementi strutturali in legno, piani e di grandi dimensioni. Questi elementi di legno massiccio a strati incrociati sono formati da più strati di tavole sovrapposti e incollati l'uno



FIG. 5.2.13  
La capanna primitiva di Laugier 1753

FIG. 5.2.14  
Impiego di  
tecnologia  
XLAM al Piano  
Terra



sull'altro in modo che la fibratura di un singolo strato sia ruotata nel piano di  $90^\circ$  rispetto agli strati adiacenti. Il numero degli strati e il loro spessore può variare notevolmente in funzione della destinazione del singolo e per ottenere un comportamento fisico e meccanico efficace dal punto di vista strutturale, il numero minimo di strati deve essere uguale a 5. I singoli banchi di lamelle sono composti da tavole di spessore variabile che vanno dai 15 ai 30 mm e, come per la maggior parte degli elementi di legno per uso strutturale, sono prodotti con legno di conifera. Essenziale per la qualità del prodotto finito è la qualità delle tavole dal punto di vista meccanico e del rispettivo profilo prestazionale che deve rispettare i medesimi criteri di produzione del legno lamellare incollato da cui dipende dunque la loro larghezza che varia tra gli 80 e i 240 mm. Trattandosi a tutti gli effetti di legno massiccio dove la struttura del materiale non ha subito alcuna modifica dal punto di vista fisico, chimico o biologico, questi elementi prendono dal legno lamellare tutte le basi tecniche, tecnologiche e scientifiche legate alla caratterizzazione e al comportamento fisico e

meccanico classificato secondo la resistenza.

La qualità strutturale di questi pannelli è notevole e la distribuzione degli sforzi interni consente di ottenere un comportamento ottimale sia con effetto piastra, dato dalle sollecitazioni perpendicolari al piano del pannello e dalla resistenza e rigidità del pannello a flessione e taglio nelle due direzioni del suo piano, sia con l'effetto lastra, dato dalle sollecitazioni nel piano del pannello e dalla resistenza e rigidità agli sforzi normali e di taglio nel suo piano. La particolarità del materiale X-LAM, essendo ottenuto dall'incollaggio di tavole di legno in due direzioni ortogonali, è quella di non avere un comportamento isotropo, ma pressoché ortotropo (sia per il materiale adottato che per costruzione geometrica della sezione). La struttura portante di un edificio costruito con l'impiego di questa innovativa tecnologia strutturale è il risultato della combinazione di elementi di questo tipo, appositamente collegati fra loro in modo da creare strutture portanti tridimensionali.

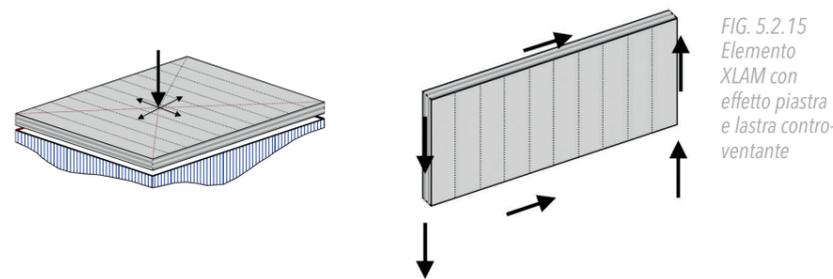


FIG. 5.2.15  
Elemento  
XLAM con  
effetto piastra  
e lastra contro-  
ventante

## 5.2.5 Inquadramento normativo

La situazione normativa nel settore delle costruzioni a livello europeo e a livello nazionale è in fase di forte evoluzione. L'obiettivo è quello di incorporare metodi di calcolo e di verifica in accordo con i criteri più avanzati di sicurezza (come il metodo semi-probabilistico agli stati limite). L'Eurocodice CEE è una formulazione di normativa da applicarsi ai Paesi europei aderenti alla CEE e, nella fattispecie del legno per strutture, ci si riferisce all'Eurocodice 5 relativo alle "Regole comuni unificate per le strutture in legno" che si divide in:

- EN 1995-1-1 "Progettazione delle strutture in legno. Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici";
- EN 1995-1-2 "Progettazione delle strutture in legno. Parte 1-2: Progettazione strutturale contro l'incendio";
- EN 1995-2 "Progettazione delle strutture in legno. Parte 2: Ponti".

Essendoci in Europa un accordo univoco sulla filosofia di applicazione dei principi di dimensionamento, tutte le norme attuali più recenti a livello nazionale, vanno nella medesima direzione e possono essere definiti come molto simili.

In Italia sono le Norme Tecniche per le Costruzioni del 2008 (NTC 08) attualmente in vigore a definire i principi per la progettazione, esecuzione e collaudo delle costruzioni in termini di resistenza meccanica, stabilità e durabilità anche in

caso di sisma e incendio.

## 5.2.6 Analisi con il metodo agli stati limite

### 5.2.6.1 Metodo semi-probabilistico

La verifica della sicurezza della struttura può essere ricondotta alla verifica della seguente disuguaglianza per ogni elemento strutturale e per l'intero organismo strutturale che deve valere per l'intera vita utile dell'opera:

$$\text{Sollecitazione} < \text{Resistenza}$$

Le sollecitazioni dipendono, oltre che dall'entità dei carichi agenti, dalle ipotesi cinematiche che si assumono per schematizzare i vincoli reali della struttura. La resistenza invece dipende da una corretta interpretazione dei meccanismi resistenti e dalla possibilità di assegnare al materiale in modo

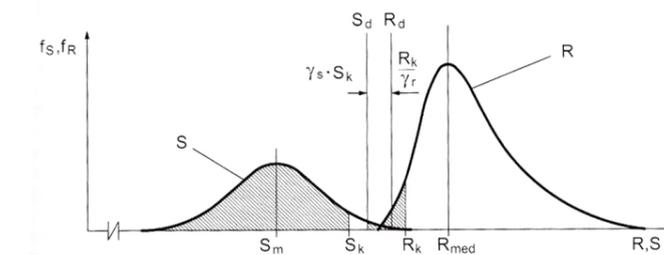


FIG. 5.2.16  
Funzione di  
densità di  
probabilità  
per le resi-  
stenze e valori  
caratteristici

affidabile i valori limite di resistenza. Tutte le grandezze in gioco, sia nel campo delle resistenze che delle sollecitazioni, hanno carattere aleatorio, ovvero non possono essere determinate in maniera univoca, ed è per questo, che per la valutazione della sicurezza strutturale delle costruzioni si sono adottati criteri probabilistici scientificamente comprovati.

Il metodo semi-probabilistico agli stati limite o di I livello si basa sull'impiego dei coefficienti parziali di sicurezza. Per i valori caratteristici di resistenza dei materiali  $R_{ki}$ , solitamente si assume il valore caratteristico al 5° percentile (inferiore), ovvero la probabilità del 5% di non essere superato, mentre per i valori caratteristici di sollecitazione  $S_{ki}$  si assume il valore caratteristico al 95° percentile. I coefficienti di sicurezza  $\gamma_m$  per gli stati limite ultimi sono determinati dal prodotto dei fattori parziali  $\gamma_m^I$ ,  $\gamma_m^{II}$  e  $\gamma_m^{III}$  che tengono conto rispettivamente dell'incertezza del modello (1,1), del passaggio dal frattile del 5% al frattile dello 0,5% per il materiale in opera (1.14 per il legno lamellare) e della correzione tra i valori di resistenza delle prove e quella effettiva del materiale in opera (1 per il legno strutturale).

Allo stato limite ultimo il coefficiente  $\gamma_m$  è uguale a 1,25 mentre, per gli stati limite di esercizio dove i valori di progetto coincidono con quelli caratteristici, è unitario.

### 5.2.6.2 Classi di durata del carico

Nella determinazione delle resistenze degli elementi strutturali, le normative ci danno tutte le indicazioni per tenere in considerazione alcune particolarità del materiale legnoso

rispetto ad altri materiali da costruzione, come la dipendenza della resistenza dalla durata dei carichi e dell'umidità. Secondo i documenti normativi europei infatti le azioni devono essere assegnate a una delle classi di durata del carico indicate in *tabella 5.2.1*. Le classi di durata del carico sono caratterizzate dall'effetto di un carico costante attivo per un certo periodo di tempo nella vita della struttura. Per un'azione variabile la classe appropriata deve essere determinata in funzione di una stima dell'interazione fra la variazione temporale tipica del carico nel tempo e le proprietà dei materiali. Ai fini del calcolo si possono assumere:

- il peso proprio e i carichi non removibili durante il normale esercizio della struttura sono appartenenti alla classe di durata permanente;
- i carichi permanenti suscettibili di cambiamenti durante il normale esercizio della struttura e i sovraccarichi variabili relativi a magazzini e depositi sono appartenenti alla classe di lunga durata;
- i sovraccarichi variabili in generale appartengono alla classe di media durata;
- il sovraccarico della neve di riferimento al suolo (qsk) ha una classe di durata che dipende dalla specificità del sito e della sua altitudine;

Classe di durata del carico	Durata del carico caratteristico
Permanente	più di 10 anni
Lunga durata	da 6 mesi a 10 anni
Media durata	da una settimana a 6 mesi
Breve durata	meno di una settimana
Istantaneo	-

TAB 5.2.1  
Classi di durata dei carichi

- l'azione del vento e le azioni eccezionali appartengono alla classe di durata istantanea.

### 5.2.6.3 Classi di servizio

Le strutture devono essere assegnate ad una delle classi di servizio elencate. Questo sistema è principalmente destinato all'assegnazione dei valori di resistenza ed al calcolo delle deformazioni in condizioni ambientali definite:

- Classe di servizio 1: è caratterizzata da un'umidità dei materiali corrispondente ad una temperatura di 20°C ed un'umidità relativa dell'aria circostante che non superi il 65% se non per poche settimane all'anno. Nella maggior parte dei legni di conifere, l'umidità media non eccede il 12%. Possono appartenere a questa classe gli elementi lignei protetti contro le intemperie come quelli posti all'interno degli edifici in ambienti condizionati;
- Classe di servizio 2: è caratterizzata da un'umidità relativa dei materiali corrispondente ad una temperatura di 20°C ed un'umidità relativa dell'aria circostante che superi l'85% solo per poche settimane all'anno. In questo caso invece, nella maggior parte dei legni di conifere, l'umidità media non eccede il 20%. Possono appartenere a questa classe gli elementi lignei posti all'esterno degli edifici ma protetti, almeno parzialmente, dalle intemperie e dall'irraggiamento solare diretto;
- Classe di servizio 3: quando le condizioni climatiche che conducono ad umidità più elevate di quelle della classe di

servizio 2. Possono appartenere a questa classe gli elementi lignei posti all'esterno degli edifici direttamente esposti.

### 5.2.6.4 Azioni di calcolo: SLU

Le azioni sulla costruzione devono essere cumulate in modo da determinare condizioni di carico tali da risultare più sfavorevoli ai fini delle singole verifiche, tenendo conto della probabilità

$$Fd = \gamma_g \times G_k + \gamma_q \times [Q_{k,1} + \sum_{i>1} (\psi_{0,i} \times Q_{k,i})]$$

ridotta di intervento simultaneo di tutte le azioni con i rispettivi valori più sfavorevoli, come consentito dalle norme citate.

Per gli stati limite ultimi le combinazioni sono del tipo:

Dove:

- $G_k$  valore caratteristico della azioni permanenti;
- $Q_{k,1}$  valore caratteristico dell'azione di base (o dominante) di ogni combinazione;
- $Q_{k,i}$  valori caratteristici delle azioni variabili tra loro indipendenti ( $i > 1$ );
- $\gamma_g$  è 1,35 o 1,40 (1 se il suo contributo aumenta la sicurezza);
- $\gamma_q$  è 1,5 (0 se il suo contributo aumenta la sicurezza);
- $\psi_{0,i}$  coefficiente di combinazione allo stato limite ultimo.

$$X_d = \frac{k_{mod} \cdot X_k}{\gamma_m}$$

Il valore di calcolo  $X_d$  di una proprietà del materiale o della resistenza di un collegamento a partire da valori caratteristici viene calcolato mediante la relazione:

Dove:

- $X_k$  è il valore caratteristico della proprietà del materiale. Il valore caratteristico  $X_k$  può essere specificato da norme pertinenti o determinato sulla base di prove svolte in condizioni definite dalle medesime;
- $\gamma_m$  è il coefficiente di sicurezza parziale per le proprietà del materiale i cui valori sono riportati in *Tabella 5.2.2*;

TAB 5.2.2  
SLU - valori di  $\gamma_m$

SLU	
Combinazioni fondamentali	$\gamma_m$
Legno lamellare incollato	1,25
Unioni	1,30

- $k_{mod}$  è il coefficiente di correzione che tiene conto dell'effetto, sui parametri di resistenza, sia della durata del carico sia dell'umidità degli elementi (*Tabella 5.2.3*). Se una combinazione di carico comprende azioni appartenenti a differenti classi di durata del carico, è opportuno scegliere un opportuno coefficiente di correzione di valore  $k_{mod}$  che corrisponda all'azione di minor durata.

TAB 5.2.3  
Valori  $k_{mod}$  per il legno lamellare incollato

Materiale di riferimento	Riferimento	Classe di servizio	Classe di durata del carico				
			Permanente	Lunga	Media	Breve	Istantanea
Legno lamellare incollato	EN 14080	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
		2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
		3	0,55	0,55	0,65	0,70	0,90

TAB 5.2.4  
Valori  $k_{mod}$  per il legno lamellare incollato

Coefficientsi parziali per le azioni o per il loro effetto nelle verifiche SLU		Coefficiente $\gamma_F$	EQU	A1 STR	A2 GEO
Carichi permanenti	favorevoli / sfavorevoli				
Carichi permanenti	favorevoli	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	sfavorevoli		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti non strutturali	favorevoli	$\gamma_{G2}$	0,0	0,0	0,0
	sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Carichi variabili	favorevoli	$\gamma_{qi}$	0,0	0,0	0,0
	sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

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.

### 5.2.6.5 Azioni di calcolo: SLE

Per gli stati limite di esercizio si devono prendere in esame le combinazioni rare, frequenti e quasi permanenti con i valori dei coefficienti  $\gamma_g, \gamma_p, \gamma_q$  unitari, e applicando ai valori caratteristici delle azioni variabili adeguati valori per i coefficienti di combinazione  $\psi_0, \psi_1, \psi_2$  (*Tabella 5.2.5*).

In forma convenzionale, nell'ordine di combinazioni rare, combinazioni frequenti e combinazioni quasi permanenti, le formule di combinazione possono essere espresse nel modo seguente:

$$F_d = G_k + Q_{k,1} + \sum_{i>1} (\Psi_{0,i} \times Q_{k,i})$$

$$F_d = G_k + \Psi_{1,1} \times Q_{k,1} + \sum_{i>1} (\Psi_{2,i} \times Q_{k,i})$$

$$F_d = G_k + \sum_{i>1} (\Psi_{2,i} \times Q_{k,i})$$

Essendo:

- $\psi_{1,i}$  il coefficiente atto a definire i valori delle azioni assimilabili ai frattili di ordine 0,95 delle distribuzioni dei valori istantanei;
- $\psi_{2,i}$  il coefficiente atto a definire i valori quasi permanenti delle azioni variabili assimilabili ai valori medi delle distribuzioni dei valori istantanei.

La deformabilità degli elementi strutturali, nonché della struttura, risultante dagli effetti delle azioni applicate, da dati di coazione, o da variazioni dell'umidità del materiale, deve essere limitata entro limiti accettabili al fine di garantire

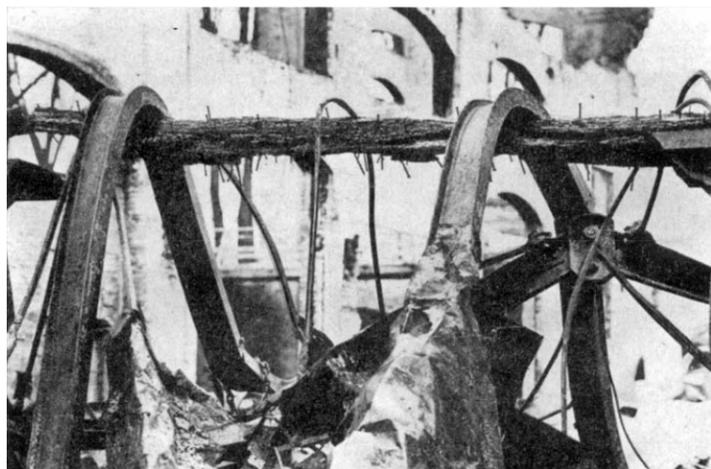
l'efficienza degli stessi in condizioni di esercizio, con particolare attenzione anche ai danni che possono essere indotti a materiali di rivestimento, pavimenti, tramezzature, finiture, e ai requisiti funzionali ed estetici.

TAB 5.2.5  
Coefficienti di combinazione  $\psi_i$  validi allo SLU e allo SLE

Valori dei coefficienti di combinazione			
Categoria/Azione Variabile	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
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 $> 30$ 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 $\leq 1000$ )	0,5	0,2	0,0
Neve (a quota $> 1000$ )	0,7	0,5	0,2
Variazioni termiche	0,6	0,5	0,0

## 5.3 RESISTENZA AL FUOCO

FIG. 5.3.1  
Scenario post  
incendio, una  
trave in legno  
sorregge gli  
elementi fusi  
in acciaio



### 5.3.1 Il legno e l'incendio

Il legno è un materiale polimerico che può bruciare; la sua combustione avviene mediante il raggiungimento di una temperatura sufficientemente elevata da produrre degradazione termica della cellulosa (240-350°C), dell'emicellulosa (200-260°C) e della lignina (280-500°C). La struttura delle sue cellule conferisce al materiale delle discrete caratteristiche di isolamento termico tale che, quando avviene una combustione sulla sua superficie, le zone interne non raggiungono

temperature molto elevate. La velocità di carbonizzazione di questo materiale aumenta al diminuire della sua densità e del contenuto di umidità. Durante i fenomeni di incendio la decomposizione dei costituenti del legno quali in particolare la lignina, non è completa e può lasciare sulla superficie un deposito carbonioso che isola ulteriormente il legno dalla zona in cui avviene la combustione dei gas volatili.

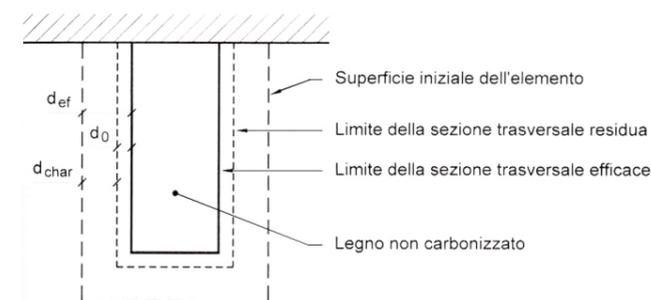
In un elemento ligneo sottoposto a combustione si possono individuare tre zone distinte (Figura 5.3.2): una zona esterna carbonizzata, fessurata ed erosa, una zona intermedia e una zona interna nella quale non si è ancora raggiunta la temperatura di degradazione termica. Poiché lo strato esterno carbonizzato tende a proteggere gli strati interni e a limitare il loro aumento di temperatura, la zona interna rimane dunque inalterata ed ancora in grado di resistere meccanicamente alle sollecitazioni dei carichi, rallentando il processo di degrado e di cedimento strutturale. A differenza di altri materiali quali acciaio e calcestruzzo armato, la perdita di efficienza di un elemento strutturale in legno avviene per riduzione della sezione resistente e non per un decadimento globale delle caratteristiche meccaniche del materiale. I veri punti deboli delle strutture lignee sono le giunzioni metalliche se esposte al fuoco mentre, quando sono protetti dal legno stesso, hanno un

comportamento migliore.

### 5.3.2 Progetto della struttura resistente al fuoco

#### 5.3.2.1 Progetto degli elementi: approccio normativo

FIG. 5.3.2  
Sezione  
trasversale,  
residua ed  
efficace



La normativa europea (EN 1995-1-2) prevede tre metodi per il calcolo per consentire realistiche valutazioni progettuali e/o di verifica.

Il metodo di seguito esposto, denominato "metodo della

$$d_{ef} = d_{char,n} + k_0 \cdot d_0$$

sezione efficace" prevede appunto il calcolo di una sezione efficace ottenuta riducendo la sezione iniziale di una profondità

di carbonizzazione efficace  $d_{ef}$  così calcolata:

In cui sono indicati:

- $d_{ef}$  è la profondità di sezione da depurare per ottenere la sezione trasversale efficace;
- $d_{char,n}$  profondità di carbonizzazione "ideale",  $d_{char,n} = \beta_n \cdot t$ , essendo  $\beta_n$  una velocità di carbonizzazione ideale, che include gli effetti (negativi) di fessurazioni e arrotondamento degli spigoli (Tabella 5.3.1);

Alcuni valori di $\beta_0, \beta_n$ per il legno [mm/min]		
Materiale	$\beta_0$	$\beta_n$
- Conifere e faggio		
Legno lamellare incollato di conifere con massa volumica caratteristica $\geq 290$ kg/m <sup>3</sup>	0,65	0,70
- Latifoglie		
Legno massiccio o lamellare con massa volumica caratteristica di 290 kg/m <sup>3</sup>	0,65	0,70
Legno massiccio o lamellare con massa volumica caratteristica $\geq 450$ kg/m <sup>3</sup>	0,50	0,55

TAB 5.3.1  
Valori di  $\beta_0$   
e  $\beta_n$  per il  
legno

- $k_0$  coefficiente variabile tra 0 e 1;
- $d_0 = 7$  mm, valore massimo di differenza tra sezione residua ed efficace.

Nel caso in cui si tenga in conto dell'effetto smusso che si crea negli spigoli di sezione a causa dell'esposizione al fuoco sulle due facce contigue, si può adottare la velocità  $\beta_0$  assumendo

$$b_{min} = \begin{cases} 2 \cdot d_{char,0} + 80 & \text{quando } d_{char,0} \geq 13 \text{ mm} \\ 8,15 \cdot d_{char,0} & \text{quando } d_{char,0} < 13 \text{ mm} \end{cases}$$

il raggio di smusso uguale alla profondità di carbonizzazione  $d_{char,0}$  risultando maggiore del valore  $b_{min}$  così calcolato: Quando la dimensione minima della sezione è o diviene minore



FIG. 5.3.2  
Sezione di una trave in legno  
post incendio

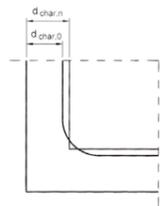


FIG. 5.3.3  
Effetto smusso a causa dell'esposizione al fuoco dell'elemento ligneo

di  $b_{\min}$  ci si deve riferire ai valori di  $\beta_n$ . Per quanto riguarda i valori da assegnare al coefficiente  $k_{\sigma}$ , esso si assume unitario per tempi di esposizione maggiori a 20 minuti e variabile linearmente da 0 a 1 per tempi "t" compresi tra 0 e 20 minuti. Quando l'elemento ligneo è protetto il limite di 20 minuti, a partire dal quale si considera  $k_{\sigma}$  unitario, viene sostituito dal minore tra il tempo di inizio carbonizzazione dell'elemento protetto e il tempo di collasso della protezione.

$$f_{d,fi} = k_{\text{mod},fi} \cdot \frac{f_k \cdot k_{fi}}{\gamma_{M,fi}}$$

$$S_{d,fi} = k_{\text{mod},fi} \cdot \frac{S_{05} \cdot k_{fi}}{\gamma_{M,fi}}$$

$$R_{d,fi} = \eta \cdot \frac{R_k \cdot k_{fi}}{\gamma_{M,fi}}$$

Per le resistenze e i moduli di elasticità di progetto della sezione efficace, nonché per la resistenza dei collegamenti valgono le seguenti equazioni:

Nelle equazioni sono indicati (a temperature ambiente):

- $f_k$  il valore caratteristico (frattile 5%) di una resistenza;
- $S_{05}$  il valore caratteristico (frattile 5%) di un modulo di elasticità (E o G);
- $R_k$  il valore caratteristico della resistenza di un collegamento.

Si utilizzano inoltre i seguenti valori per i vari coefficienti:

- $k_{fi} = 1,15$  per il legno lamellare, è un coefficiente che consente di passare dai valori caratteristici a temperature ambiente (frattile 5%) a quelli corrispondenti al frattile 20%;
- $\gamma_{M,fi} = 1,0$  è il coefficiente parziale di sicurezza in situazioni di incendio;
- $k_{\text{mod},fi}$  è un fattore di modificazione delle proprietà meccaniche che, nel caso del metodo in oggetto, assume valore unitario e sostituisce il parametro  $k_{\text{mod}}$  a temperatura ambiente;
- $\eta$  è un fattore di riduzione della portata in funzione del tempo "t" di esposizione al fuoco.

### 5.3.2.1 Progetto dei collegamenti: approccio normativo

La struttura lignea in legno lamellare fa ricorso in modo sistematico a collegamenti realizzati con mezzi meccanici che costituiscono parti essenziali per la statica della struttura. Ai fini della resistenza al fuoco della struttura è pertanto necessario valutare la prestazione del collegamento sotto l'azione dell'incendio. Molto spesso sono infatti i collegamenti con elementi metallici a rappresentare il vero punto di criticità della struttura lignea nei confronti del fuoco. Le parti metalliche costituiscono elemento di trasmissione di calore anche all'interno della massa lignea oppure esse presentano, se esposte al fuoco, deformazioni incompatibili con la statica globale della struttura.

Le cosiddette unioni non protette, purché a comportamento

statico globalmente simmetrico, sono considerate dalla normativa europea come soddisfacenti alla classe di resistenza R15 o R20.

Oltre tale valore sono necessari requisiti aggiuntivi da valutare attentamente in sede di progetto. Il primo requisito riguarda lo spessore dell'elemento ligneo collegato e la distanza dai bordi del mezzo di collegamento (chiodo o spinotto) che deve garantire la prestazione, in condizioni ultime, anche al tempo

FIG. 5.3.2  
Classi di resistenza per unioni non protette

Elementi di collegamento	$t_{d,fi}$	Condizione imposta
Chiodi	15	$d \geq 2,8$ mm
Viti	15	$d \geq 3,5$ mm
Bulloni	15	$t1 \geq 45$ mm
Perni	20	$t1 \geq 45$ mm
Altri tipi di connettori (secondo EN 912)	15	$t1 \geq 45$ mm

richiesto di resistenza  $t_{\text{req}}$ . Per tale requisito si fa dunque riferimento al tempo richiesto oltre quello già garantito secondo la *Tabella 5.3.2*.

Alcune semplificazioni possono essere adottate per resistenze richieste  $t_{\text{req}} \leq 30$  minuti, e per collegamenti che adottino perni, chiodi o viti con teste non sporgenti. In tali casi sarà infatti

$$a_{fi} = \beta_n \cdot k_{\text{flux}} \cdot (t_{\text{req}} - t_{d,fi})$$

sufficiente aumentare gli spessori degli elementi lignei laterali, la larghezza degli stessi nonché la distanza da ciascun bordo dei mezzi di unione della quantità:

in cui, oltre ai simboli già introdotti, compare il coefficiente  $k_{\text{flux}}$  che tiene conto di un aumentato flusso termico a causa della presenza del connettore metallico e che può essere assunto

pari a 1,5. Accanto a tale metodologia semplificata di verifica, può essere utilizzato un altro metodo di verifica che prevede il

$$R_{d,fi} = \eta \frac{R_k \cdot k_{fi}}{\gamma_{M,fi}}$$

$$\eta = e^{-k \cdot t_{d,fi}}$$

calcolo di un tempo di resistenza del collegamento in funzione di una capacità di resistenza ridotta. Sulla base delle resistenze di calcolo del collegamento  $R_{d,fi}$  valutabile tramite l'espressione:

Elementi di collegamento	k	Tempo massimo di validità
Chiodi	0,08	20
Bulloni legno-legno ( $d \geq 12$ mm)	0,065	30
Bulloni acciaio-legno ( $d \geq 12$ mm)	0,085	30
Perni legno-legno ( $d \geq 12$ mm)	0,04	40
Perni acciaio-legno ( $d \geq 12$ mm)	0,085	30
Altri tipi di connettori (secondo EN 912)	0,065	30

TAB 5.3.3  
Valori di  $\beta_n$  e  $\beta_n$  per il legno

A seguito della definizione di  $\eta$ , dove il parametro k è assegnato in funzione della tipologia di connessione secondo la *Tabella 5.3.3*.

# 5.4 IL PROGETTO STRUTTURALE

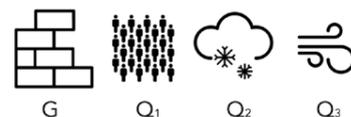
## 5.4.1 Analisi dei carichi sulla struttura

### 5.4.1.1 Classificazione delle azioni

Le azioni che investono la struttura si sono classificate, come previsto dalla NTC 2008, in relazione della loro presenza nell'arco della vita di progetto come:

- Permanenti (G): azioni che agiscono durante tutta la vita nominale della costruzione, la cui variazione di intensità nel tempo è così piccola e lenta da poterle considerare, con sufficiente approssimazione, costanti nel tempo tra cui il peso proprio di tutti gli elementi strutturali ( $G_1$ ) e il peso proprio di tutti gli elementi non strutturali ( $G_2$ );
- Variabili (Q): azioni sulla struttura o sull'elemento strutturale con valori istantanei che possono risultare sensibilmente diversi fra loro nel tempo, di lunga durata o di breve durata, quali i carichi variabili di esercizio ( $Q_1$ ), i carichi dovuti all'azione della neve ( $Q_2$ ) e quelli dovuti all'azione del vento ( $Q_3$ );
- Sismiche (E): azioni derivanti da terremoti

FIG. 5.4.1  
Carichi permanenti e variabili



### 5.4.1.2 Carichi permanenti (G)

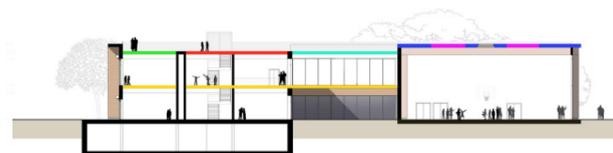
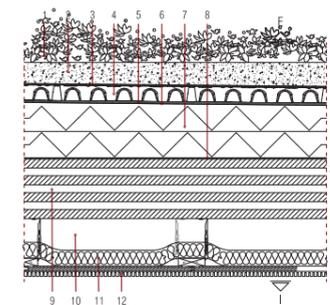


FIG. 5.4.2  
Sezione longitudinale della scuola

- C.O.03 Coperura verde
- C.O.04 Copertura praticabile
- C.O. 05 Copertura non praticabile
- C.O.06 Copertura non praticabile con fotovoltaico
- P.O.01 Solaio interpiano

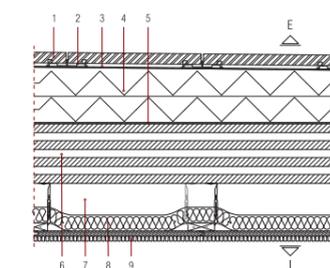
FIG. 5.4.3  
Abaco C.O.03



TAB 5.4.1  
Analisi dei carichi permanenti C.O.03

C.O.03 Copertura verde			
STRATO	Spessore	Peso per unità di volume	Peso per unità di superficie
	[m]	[kN/mc]	[kN/mq]
Strato culturale	0,08	14,7	1,176
Strato di TNT	0,0012	-	0,0015
Elemento di accumulo idrico in polipropilene rigenerato	0,055	-	0,0082
Stuoia di protezione in poliestere	0,002	-	0,003
Membraba bituminosa armata	0,0025	9	0,0225
Membraba traspirante anticondensa (tipo: RIWEGA USB Elephant)	0,0015	2,19	0,0033
Strato termoisolante il polistirene espanso (pendenza 1%)	0,2	0,36	0,072
Barriera al vapore	0,0003	2,8	0,00084
Pannello XLAM a 5 strati incrociati	0,14	4	0,56
Elemento di supporto controsoffitto	-	-	0,045
Pannelli fonoisolanti in fibra di legno	0,06	0,49	0,0294
Controsoffittatura (tipo: Lignotrend - LIGNO Akustik light)	0,33	-	0,09
		4,3	
Peso portato totale (G2)			1,452
Peso permanente totale (Gtot)			2,012

FIG. 5.4.4  
Abaco C.O.04



TAB 5.4.2  
Analisi dei carichi permanenti C.O.04

C.O.04 Copertura praticabile			
STRATO	Spessore	Peso per unità di volume	Peso per unità di superficie
	[m]	[kN/mc]	[kN/mq]
Pavimento galleggiante	0,02	25,5	0,51
Elemento di supporto in polipropilene	-	-	-
Membraba bituminosa armata	0,0025	9	0,0225
Membraba traspirante anticondensa (tipo: RIWEGA USB Elephant)	0,0015	2,19	0,0033
Strato termoisolante il polistirene espanso (pendenza 1%)	0,2	0,36	0,072
Barriera al vapore	0,0003	2,2	0,00066
Pannello XLAM a 5 strati incrociati	0,14	4	0,56
Elemento di supporto controsoffitto	-	-	0,045
Pannelli fonoisolanti in fibra di legno	0,06	0,49	0,0294
Controsoffittatura (tipo: Lignotrend - LIGNO Akustik light)	0,33	-	0,09
Peso portato totale (G2)			0,773
Peso permanente totale (Gtot)			1,333

FIG. 5.4.5  
Abaco C.O.05

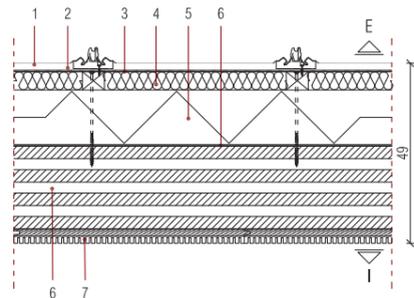


FIG. 5.4.6  
Abaco C.O.06

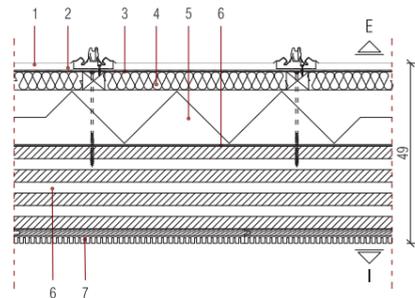


FIG. 5.4.7  
Abaco P.O.08

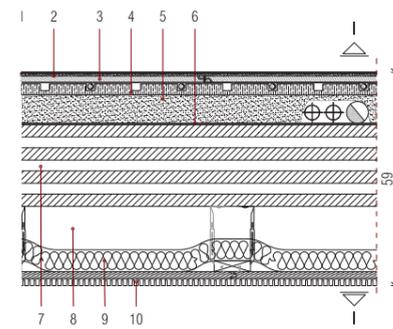
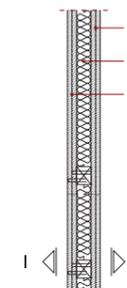


FIG. 5.4.8  
Abaco P.V.03



TAB 5.4.3  
Analisi dei  
carichi perma-  
nenti C.O.05

C.O.05 Copertura non praticabile			
STRATO	Spessore	Peso per unità di volume	Peso per unità di superficie
	[m]	[kN/mc]	[kN/mq]
Sistema di copertura piana in lega di alluminio (tipo: RIVERCLACK 500)	0,07	-	0,05
Membrana bituminosa antirombo (tipo: RIWEGA Drenlam Light)	0,008	0,44	0,0035
Membrana traspirante anticondensa (tipo: RIWEGA USB Elephant)	0,0015	2,19	0,0033
Isolante morbido in lana minerale	0,05	0,3	0,015
Sottostruttura in listelli 50 x 40 mm in legno d'abete	0,05	4,6	0,018
Strato termoisolante il polistirene espanso	0,15	0,36	0,054
Barriera al vapore	0,0003	2,2	0,00066
Pannello XLAM a 5 strati incrociati	0,12	4	0,48
Pannelli fonoassorbenti (tipo: Lignotrend - LIGNO Akustik light)	0,33	-	0,09
Peso portato totale (G2)			0,234
Peso permanente totale (Gtot)			0,714

C.O.06 Copertura non praticabile con fotovoltaico			
STRATO	Spessore	Peso per unità di volume	Peso per unità di superficie
	[m]	[kN/mc]	[kN/mq]
Sistema fotovoltaico integrato (tipo: RIVERCLACK KRISTAL)	-	-	0,12
Sistema di copertura piana in lega di alluminio (tipo: RIVERCLACK 500)	0,07	-	0,05
Membrana bituminosa antirombo (tipo: RIWEGA Drenlam Light)	0,008	0,44	0,0035
Membrana traspirante anticondensa (tipo: RIWEGA USB Elephant)	0,0015	2,19	0,0033
Isolante morbido in lana minerale	0,05	0,3	0,015
Sottostruttura in listelli 50 x 40 mm in legno d'abete	0,05	4,6	0,018
Strato termoisolante il polistirene espanso	0,15	0,36	0,054
Barriera al vapore	0,0003	2,2	0,00066
Pannello XLAM a 5 strati incrociati	0,14	4	0,56
Pannelli fonoassorbenti (tipo: Lignotrend - LIGNO Akustik light)	0,33	-	0,09
Peso portato totale (G2)			0,354
Peso permanente totale (Gtot)			0,914

TAB 5.4.4  
Analisi dei  
carichi perma-  
nenti C.O.06

TAB 5.4.5  
Analisi dei  
carichi perma-  
nenti P.O.08

P.O.08 Solaio interpiano			
STRATO	Spessore	Peso per unità di volume	Peso per unità di superficie
	[m]	[kN/mc]	[kN/mq]
Pavimentazione in Linoleum (tipo: Forbo Marmoleum Acoustic 14 db)	0,004	-	0,03
Massetto fluido autolivellante con primer (tipo: KNAUF NS415 Microlivellina)	0,005	-	0,078
Doppia lastra in gessofibra (tipo: KNAUF Brio 18)	0,018	-	0,3
Sistema pavimento radiante a secco	0,03	-	0,02
Granulare naturale in pietra vulcanica espansa (tipo: KNAUF K437)	0,08	5,39	0,4312
Carta oleata in cellulosa naturale	0,00025	10	0,0025
Pannello XLAM a 5 strati incrociati	0,14	4	0,56
Elemento di supporto controsoffitto	-	-	0,045
Pannelli fonoisolanti in fibra di legno	0,06	0,49	0,0294
Controsoffittatura (tipo: Lignotrend - LIGNO Akustik light)	0,33	-	0,09
Peso portato totale (G2)			1,026
Peso permanente totale (Gtot)			1,586

P.V.03			
STRATO	Spessore	Peso per unità di volume	Peso per unità di superficie
	[m]	[kN/mc]	[kN/mq]
Lastra in fibrogesso rinforzata (tipo: KNAUF Diamant)	0,025	-	0,12
Lastra in fibrogesso rinforzata (tipo: KNAUF Diamant)	0,025	-	0,12
Pannelli fonoisolanti in fibra di legno	0,05	0,16	0,008
Sottostruttura in listelli 50 x 40 mm in legno d'abete	0,05	-	0,015
Lastra in fibrogesso rinforzata (tipo: KNAUF Diamant)	0,025	-	0,12
Lastra in fibrogesso rinforzata (tipo: KNAUF Diamant)	0,025	-	0,12
			0,503

TAB 5.4.6  
Analisi dei  
carichi perma-  
nenti P.V.03

Nel caso di elementi tecnologici verticali quali pareti perimetrali e partizioni interne, si fa riferimento al peso proprio per unità di lunghezza (kN/m) relativo al carico permanente portato uniformemente distribuito ( $g_2$ ), come previsto dalle NTC 2008.

- per elementi divisori con  $G_2 \leq 1,00$  kN/m:  $g_2 = 0,40$  kN/m/m<sup>2</sup>
- per elementi divisori con  $1,00 \leq G_2 \leq 2,00$  kN/m:  $g_2 = 0,80$  kN/m/m<sup>2</sup>;
- per elementi divisori con  $2,00 \leq G_2 \leq 3,00$  kN/m:  $g_2 = 1,20$  kN/m/m<sup>2</sup>;
- per elementi divisori con  $3,00 \leq G_2 \leq 4,00$  kN/m:  $g_2 = 1,60$  kN/m/m<sup>2</sup>;
- per elementi divisori con  $4,00 \leq G_2 \leq 5,00$  kN/m:  $g_2 = 2,00$  kN/m/m<sup>2</sup>.

Dall'analisi effettuata per la partizione verticale interna P.V.03, il peso proprio per unità di lunghezza per unità di lunghezza su 3,80m di altezza è di 1,911 kN/m per cui il carico uniformemente distribuito relativo alla partizione è:

$$g_2 = 0,80 \text{ kN/m}^2$$

### 5.4.1.3 Carichi di esercizio ( $Q_1$ )

I carichi di esercizio sono legati alla destinazione d'uso dell'opera e possono essere costituiti da:

- carichi verticali uniformemente distribuiti  $q_k$  [kN/m<sup>2</sup>];
- carichi verticali concentrati  $Q_k$  [kN];
- carichi orizzontali lineari  $H_k$  [kN/m].

Nella *Tabella 5.4.7*, riassuntiva delle prescrizioni della normativa italiana NTC 2008, sono riportati i valori dei carichi d'esercizio per le diverse categorie di edifici quali:

Cat.	Ambienti	$q_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$Q_k$ [kN]	$H_k$ [kN/m]
C	Ambienti suscettibili di affollamento Cat. C1 Ospedali, ristoranti, caffè, banche, scuole Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso	3	2	1
E	Cat. E1 Biblioteche, archivi, magazzini, depositi, laboratori manifatturieri Coperture e sottotetti	$\geq 6,00$	6	1
H	Cat. H1 Coperture e sottotetti accessibili per sola manutenzione Cat. H3 Coperture praticabili	0,5	1,2	1

TAB 5.4.7  
Spezzo-  
ne della  
Tabella 3.1.II  
NTC-D2008

### 5.4.1.4 Azione della neve ( $Q_2$ )

Il carico provocato dalla neve sulla copertura  $q_s$ , viene ipotizzato agire in direzione verticale riferendosi alla proiezione orizzontale della superficie piana, viene valutato secondo la seguente espressione:

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

Dove:

- $q_{sk}$  è valore caratteristico del carico della neve al suolo in  $kN/m^2$  per un periodo di ritorno di 50 anni che, data la

quota di altitudine di riferimento  $a_s = 344$  m sul livello del mare, e trovandosi l'edificio in "Zona I – Alpina":

$$q_{sk} = 1,39 \cdot [1 + (a_s / 738)^2] = 1,7 \text{ kN/m}^2$$

- $C_e$  è il coefficiente di esposizione che viene preso unitario trattandosi di un'area topograficamente "Normale" ovvero "area in cui non è presente una significativa rimozione di neve sulla costruzione prodotta dal vento, a causa del terreno, altre costruzioni o alberi";
- $C_t$  è il coefficiente termico che, in assenza di uno studio specifico e documentato, è anch'esso unitario;
- $\mu_i$  è il coefficiente di forma della copertura. L'edificio di progetto presenta una copertura piana con pendenza dell'1% delimitata da dei parapetti pieni di altezza pari a 1m. Per il calcolo del carico della neve sulla copertura, si considera il "carico da neve depositata in presenza di vento" in quanto la presenza di sporgenze, quali ad esempio i parapetti di bordo utilizzati per le coperture piane, durante fenomeni ventosi, possono causare la formazione di accumuli nevosi nelle zone di "ombra aerodinamica". Di seguito il calcolo riferito alla porzione di copertura maggiormente esposta:

$$\begin{aligned} \mu_i &= 0,8 \quad (0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ : \text{NTC-DM08 Tabella 3.4.II}); \\ \mu_2 &= \gamma \cdot h / q_{sk} \quad (0,8 \leq \mu_2 \leq 2,0) = 1,18 \\ \gamma &= 2 \text{ kN/m}^3 \text{ peso dell'unità di volume della neve} \\ I_z &= 2h = 2 \text{ m} \quad (5 \leq I_z \leq 15 \text{ m}, \text{ con } h \text{ altezza ostruzione}); \\ b &= l_{lat} / 2 = 11,6 \text{ m} \end{aligned}$$

Poiché  $l_s = 2\text{m}$  e  $5 < l_s < 15\text{m}$ , si assume  $l_s = 5\text{m}$ .  
Con  $b > l_s$ , la distribuzione dei carichi dovuti alla neve, risultata essere pari a:

$$\begin{aligned} q_{s, \text{in mezzzeria}} &= \mu_i \cdot q_{sk} \cdot C_e \cdot C_t = 1,36 \text{ kN/m}^2 \\ q_{s, \text{sull'angolo}} &= \mu_i \cdot q_{sk} \cdot C_e \cdot C_t = 2,00 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

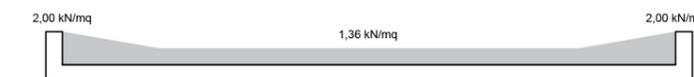


FIG. 5.4.9  
Distribuzione  
della neve sul-  
la copertura di  
progetto

### 5.6.1.5 Azione del vento ( $Q_3$ )

La velocità di riferimento  $v_b$  è il valore caratteristico della velocità del vento a 10 m dal suolo su un terreno di categoria di esposizione II (Rif. NTC-D08), mediata su 10 minuti e riferita ad un periodo di ritorno di 50 anni, ed è data dall'espressione:

$$v_b = v_{b,0} = 25 \text{ m/s} \text{ poiché } 344 \text{ m} = a_s \leq a_0 = 1000 \text{ m}$$

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 (eccetto per Trieste)	25	1000	0,01

TAB 5.4.8  
Zona climatica  
1 (NTC-D08)

Il carico provocato dal vento  $p$  viene valutato considerando la combinazione più gravosa della pressione agente rispettivamente sulla superficie esterna e sulla superficie interna dell'edificio, secondo la seguente espressione:

$$p = q_b \cdot c_e \cdot c_p \cdot c_d$$

Dove:

- $q_b$  è la pressione cinetica di riferimento espressa in  $N/m^2$  data dall'espressione:

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 = 390,62 \text{ N/m}^2 \text{ con } \rho = 1,25 \text{ kg/m}^3 \text{ densità dell'aria}$$

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

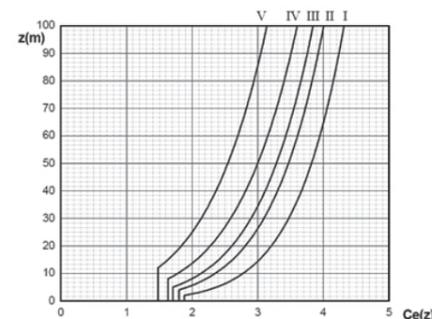
$$c_e(z) = k_r \cdot c_t \cdot \ln(z/z_0) \cdot [7 + c_t \cdot \ln(z/z_0)] \text{ per } z \geq z_{\min}$$

$$c_e(z) = c_e(z_{\min}) \text{ per } z < z_{\min}$$

Categoria di esposizione del sito	$k_r$	$z_0$ [m]	$z_{\min}$ [m]	$c_t$
III	0,20	0,10	5,00	1,00

TAB 5.4.9  
Valore della categoria di esposizione III (NTC-D08)

FIG. 5.4.10  
Valori di  $C_e(z)$  per le varie categorie di esposizione del sito (NTC-D08)



$z$ [m]	$C_e$
5,5	1,764
6,0	1,817
6,5	1,866
7,0	1,912
7,5	1,955
8,0	1,995
8,5	2,033
9,0	2,07
9,5	2,105

TAB 5.4.10  
Valori del coefficiente di esposizione  $C_e$

Fino ad un'altezza  $z = 5m$  il coefficiente di esposizione  $C_e(z)$  è pari a 1,708 mentre, per le altezze superiori, varia in funzione della quota del punto considerato. Per un corretto studio in funzione della quota ( $z$ ) si suddivide l'altezza totale dell'edificio in intervalli crescenti

di 0,5 m, calcolando il coefficiente  $C_e$  con le formule precedentemente riportate (Tabella 5.4.10).

- $C_d$  è il coefficiente dinamico che per le costruzioni di tipologia ricorrente, può essere assunto cautelativamente unitario;
- $C_p$  è il coefficiente di forma che, secondo la circolare ministeriale 617 del 14 febbraio 2009, considerando un edificio a pianta rettangolare con copertura piana, è pari a:

$$C_p = C_{pe} + C_{pi} = \pm 1,2$$



FIG. 5.4.11  
Valori del coefficiente di forma

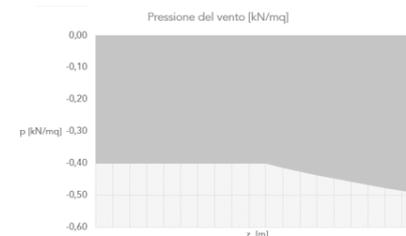
Dove:  $C_{pe} = 0,8$  per la superficie sopravento,  $C_{pe} = 0,4$  per la superficie sottovento e  $C_{pi} = 0$  pressione interna.

Per la determinazione della pressione del vento si considereranno allora le pareti sopravento con  $C_p = +1,2$  e delle pareti sottovento con  $C_p = -1,2$ . I risultati sono sintetizzati in Immagine 5.10.12 e riassunti in Tabella 5.4.11).

La pressione sulla copertura in situazione di sottovento, con  $C_p = 0,6$ , risulta essere:

$$p = q_b \cdot c_e \cdot c_p \cdot c_d = -0,49 \text{ kN/m}^2$$

FIG. 5.4.12  
Pressione del vento al variare della quota  $z$  (m)



Nel caso inoltre di costruzioni di grande estensione si deve tenere in conto delle azioni tangenziali esercitate dal vento mediante il calcolo dell'azione tangenziale:

$$p_f = q_b \cdot c_e \cdot c_f \text{ con } c_f = 0,01$$

TAB 5.4.11  
Pressione del vento da progetto

$z$ [m]	Pressione del vento		
	$C_p = 1,2$ $p$ [kN/m²]	$C_p = -1,2$ $p$ [kN/m²]	$C_p = -0,6$ $p$ [kN/m²]
0,00	0,8	-0,8	-0,4
0,50	0,8	-0,8	-0,4
1,00	0,8	-0,8	-0,4
1,50	0,8	-0,8	-0,4
2,00	0,8	-0,8	-0,4
2,50	0,8	-0,8	-0,4
3,00	0,8	-0,8	-0,4
3,50	0,8	-0,8	-0,4
4,00	0,8	-0,8	-0,4
4,50	0,8	-0,8	-0,4
5,00	0,8	-0,8	-0,4
5,50	0,83	-0,83	-0,41
6,00	0,85	-0,85	-0,43
6,50	0,88	-0,88	-0,44
7,00	0,9	-0,9	-0,45
7,50	0,92	-0,92	-0,46
8,00	0,94	-0,94	-0,47
8,50	0,95	-0,95	-0,48
9,00	0,97	-0,97	-0,49
9,50	0,99	-0,99	-0,49

TAB 5.4.12  
Azione tangenziale del vento da progetto

$z$ [m]	Azione tangenziale del vento	
	$C_e$	$p$ [N/m²]
0	1,708	6,68
0,5	1,708	6,68
1	1,708	6,68
1,5	1,708	6,68
2	1,708	6,68
2,5	1,708	6,68
3	1,708	6,68
3,5	1,708	6,68
4	1,708	6,68
4,5	1,708	6,68
5	1,708	6,68
5,5	1,764	6,9
6	1,817	7,11
6,5	1,866	7,3
7	1,912	7,48
7,5	1,955	7,65
8	1,995	7,8
8,5	2,033	7,95
9	2,07	8,1
9,5	2,105	8,23

### 5.4.1.6 Azione sismica (E)

La trattazione del seguente paragrafo è stata redatta con il supporto del foglio di calcolo "Spettri-NTCver.1.0.3" reso disponibile sul sito del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici. Per semplicità di esposizione, vengono riportati di seguito i valori di output del software sopra citato che verranno utilizzati poi per la determinazione delle forze orizzontali prodotte appunto dall'azione sismica.

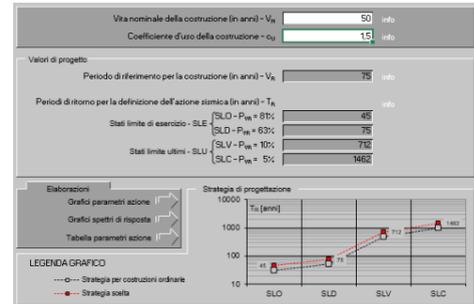


FIG. 5.4.13  
Fase 1: Individuazione della pericolosità del sito

$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_0$ [-]	$T_C$ [s]
30	0,042	2,534	0,255
50	0,052	2,510	0,269
72	0,060	2,525	0,279
101	0,067	2,542	0,284
140	0,075	2,566	0,288
201	0,085	2,585	0,292
475	0,110	2,628	0,306
975	0,136	2,646	0,316
2475	0,173	2,665	0,333

TAB 5.4.13  
Valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_C$  per i periodi  $T_R$  di riferimento

FIG. 5.4.14  
Fase 2: scelta della strategia di progettazione



TAB 5.4.14  
Valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_c$  per i periodi di ritorno  $T_R$  associati a ciascuno Stato Limite

STATO LIMITE	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_0$ [-]	$T_c$ [s]
SLO	45	0,050	2,515	0,267
SLD	75	0,061	2,527	0,280
SLV	712	0,124	2,638	0,312
SLC	1462	0,151	2,654	0,323

FIG. 5.4.15  
Spettri di risposta elastici per ciascuno Stato Limite

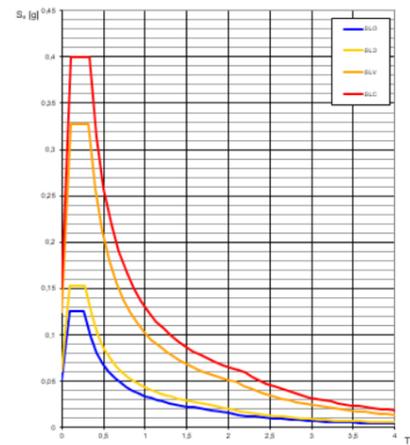
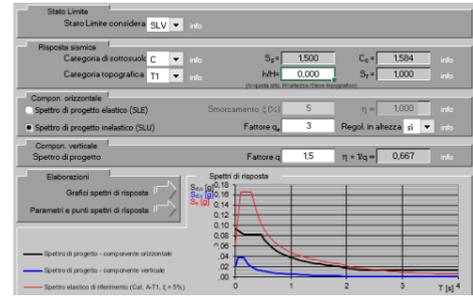


FIG. 5.4.16  
Fase 3: determinazione dell'azione di progetto



TAB 5.4.15  
Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo SLV

Parametri indipendenti		Punti dello spettro di risposta	
STATO LIMITE	SLV	$S_d$	$S_e$ [g]
$a_g$	0,061 [g]	0,009	0,054
$F_0$	2,531 [-]	0,102	0,083
$T_c$	0,288 s	0,456	0,083
$S_d$	1,500	0,522	0,072
$C_d$	1,584	0,589	0,064
$S_e$	1,000	0,655	0,058
$q$	3,000	0,722	0,052
		0,788	0,048
		0,855	0,044
		0,921	0,041
		0,988	0,038
		1,054	0,036
		1,120	0,034
		1,187	0,032
		1,253	0,030
		1,320	0,029
		1,386	0,027
		1,453	0,026
		1,519	0,025
		1,586	0,024
		1,652	0,023
		1,718	0,022
		1,785	0,021
		1,851	0,020
		1,917	0,018
		2,056	0,017
		2,158	0,015
		2,261	0,014
		2,363	0,013
		2,465	0,013
		2,568	0,013
		2,670	0,013
		2,772	0,013
		2,875	0,013
		2,977	0,013
		3,079	0,013
		3,181	0,013
		3,284	0,013
		3,386	0,013
		3,488	0,013
		3,591	0,013
		3,693	0,013
		3,795	0,013
		3,898	0,013
		4,000	0,013

**Espressioni dei parametri dipendenti**

$S = S_2 \cdot S_T$  (NTC-08 Eq. 3.2.5)

$\eta = \sqrt{10 \cdot (S + 5)} \geq 0,55; \eta = 1 \cdot q$  (NTC-08 Eq. 3.2.6, § 3.2.3.5)

$T_B = T_c / 3$  (NTC-07 Eq. 3.2.8)

$T_C = C_c \cdot T_c$  (NTC-07 Eq. 3.2.7)

$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6$  (NTC-07 Eq. 3.2.9)

**Espressioni dello spettro di risposta** (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$0 \leq T < T_B$   $S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + 1 \cdot \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$

$T_B \leq T < T_C$   $S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0$

$T_C \leq T < T_D$   $S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$

$T_D \leq T$   $S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)$

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)

### 5.4.2 Struttura trave-pilastro: la scuola

FIG. 5.4.17  
Pianta strutturale del primo impalcato

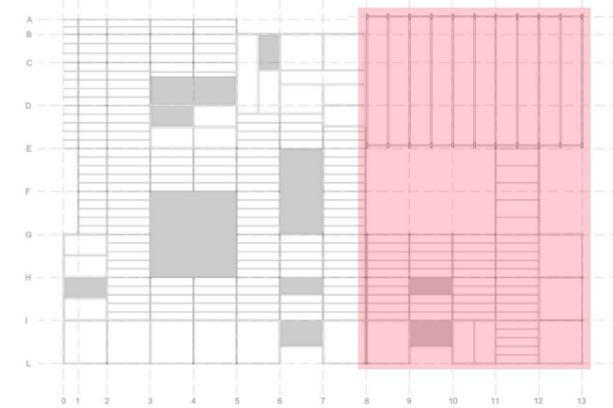
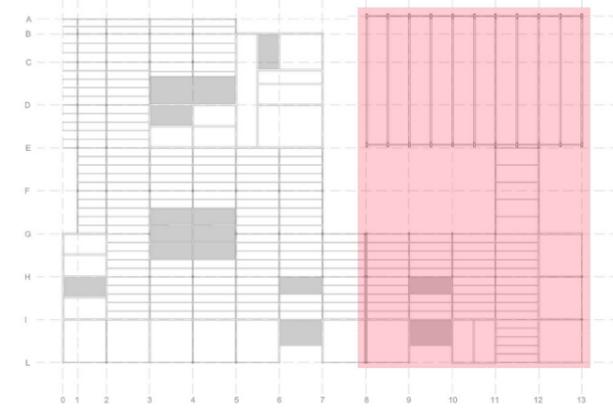


FIG. 5.4.18  
Pianta strutturale delle coperture



Il dimensionamento e le verifiche esposte in questo capitolo, sono state condotte secondo quanto previsto dalle attuali normative Europee racchiuse nell'*Eurocodice5*. Si possono sintetizzare come di seguito i vari elementi strutturali calcolati in base alle analisi dei carichi precedentemente trattate:



FIG. 5.4.19  
Trave in legno lamellare

- Travi secondarie:
- Carichi C.O.03 (l = 7,5m; i = 1,5m): b x h = 120x460mm;
  - Carichi C.O.04 (l = 7,5m; i = 1,5m): b x h = 120x480mm;
  - Carichi C.O.05 (l = 7,5m; i = 3,0m): b x h = 140x460mm;
  - Carichi C.O.08 (l = 7,5m; i = 1,5m): b x h = 120x460mm;
  - Carichi C.O.08 (l = 7,5m; i = 3,0m): b x h = 160x520mm;

- Travi primarie:
- Carichi C.O.03 (l = 7,5m): b x h = 140x460mm;
  - Carichi C.O.04 (l = 7,5m): b x h = 140x480mm;
  - Carichi C.O.05 (l = 15,0m): b x h = 200x720mm;
  - Carichi C.O.08 (l = 7,5m): b x h = 140x460mm;
  - Carichi C.O.08 (l = 15,0m): b x h = 200x800mm;



FIG. 5.4.20  
Dettaglio del nodo trave-pilastro

### 5.4.2.1 Trave secondaria T2CP: verifiche SLU

Per il calcolo e la verifica della struttura a travi e pilastri costituente l'ala di edificio destinata alle attività didattiche, si utilizza un legno lamellare GL24h caratterizzato da una massa volumica  $\rho_k = 380 \text{ kg/m}^3$ , e da i seguenti valori di resistenza:

TAB 5.4.16  
Valori di resistenza legno lamellare GL24h

Valori caratteristici	Valori di progetto	$k_{mod,I} = 0,9$	$k_{mod,II} = 0,6$	
$f_{m,y,k}$ (Mpa)	24	$f_{m,y,d}$ (Mpa)	17,28	11,52
$f_{m,z,k}$ (Mpa)	24	$f_{m,z,d}$ (Mpa)	17,28	11,52
$f_{t,0,k}$ (Mpa)	16,5	$f_{t,0,d}$ (Mpa)	11,88	7,92
$f_{t,90,k}$ (Mpa)	0,4	$f_{t,90,d}$ (Mpa)	0,29	0,19
$f_{c,0,k}$ (Mpa)	24	$f_{c,0,d}$ (Mpa)	17,28	11,52
$f_{c,90,k}$ (Mpa)	2,7	$f_{c,90,d}$ (Mpa)	1,94	1,30
$f_{v,k}$ (Mpa)	2,7	$f_{v,d}$ (Mpa)	1,94	1,30
Valori di modulo elastico				
$E_{0,mean}$	11600 Mpa	$E_{mean,fin}$	8529,41 Mpa	
$E_{0,05}$	9400 Mpa			
$G_{mean}$	720 Mpa	$G_{mean,fin}$	529,41 Mpa	

Per il dimensionamento della trave secondaria si considerare il caso di una trave di legno lamellare in semplice appoggio, soggetta ad un carico uniformemente distribuito.

FIG. 5.4.21  
Schema di trave in semplice appoggio



Le caratteristiche geometriche dell'elemento sono:

Luce fra gli appoggi	l	7,50	m
Interasse fra le travi	i	1,50	m
Base della sezione	b	120	mm
Altezza della sezione	h	480	mm

Mentre i carichi agenti:

Carichi permanenti	$g_{k1}$	1,33	kN/m <sup>2</sup>	2,00	kN/m
Peso proprio delle travi	$g_{k2}$			0,22	kN/m
Carico variabile: neve	$q_{zk}$	2	kN/m <sup>2</sup>	3	kN/m
Carico variabile: affollamento	$q_{1k}$	3	kN/m <sup>2</sup>	4,5	kN/m

Ai fini di una corretta distribuzione dell'entità dei carichi agenti sulla struttura, si procede con la loro combinazione per determinarne la situazione più sfavorevole da utilizzare per le verifiche SLU. Le combinazioni SLU come già introdotto, sono determinate mediante la formula:

$$Fd = \gamma_g \times G_k + \gamma_q \times [Q_{k,1} + \sum_{i>1} (\psi_{0,i} \times Q_{k,i})]$$

Si distinguono di seguito i due casi studiati considerando per primo il carico variabile dovuto all'affollamento come dominante e per secondo quello della neve.

Affollamento dominante					
Carico permanente proprio/portato	$g_k =$	2,22	kN/m	$\gamma_g =$	1,35
Carico variabile dominante: affollamento	$q_{zk} =$	4,50	kN/m	$\gamma_q =$	1,50
Carico variabile secondario: neve	$q_{1k} =$	3,00	kN/m	$\gamma_q =$	1,50
				$\psi_{0,1} =$	0,5
$F_d$		12,00	kN/m		
$M_{max}$		84,30	kNm		
$T_{app}$		44,96	kN		
Neve dominante					
Carico permanente proprio/portato	$g_k =$	2,22	kN/m	$\gamma_g =$	1,35
Carico variabile dominante: neve	$q_{zk} =$	3,00	kN/m	$\gamma_q =$	1,50
Carico variabile secondario: manutenzione	$q_{1k} =$	4,50	kN/m	$\gamma_q =$	1,50
				$\psi_{0,1} =$	0,7
$F_d$		12,21	kN/m		
$M_{max}$		85,88	kNm		
$T_{app}$		45,80	kN		

TAB 5.4.17  
Confronto delle combinazioni di carico fondamentali

Per la determinazione della condizione di carico più severa si confrontano i risultati così ottenuti in rapporto al coefficiente  $k_{mod}$  rappresentativo della classe di durata del carico. Poiché le

combinazioni dei carichi comprendono azioni appartenenti a differenti classi di durata, si dovrà scegliere il valore di  $k_{mod}$  che corrisponde alle azioni di minor durata; in questo particolare caso  $k_{mod} = 0,9$ .

Una volta divisi i valori di "momento massimo in mezzera" e "taglio agli appoggi", e così confrontati fra di loro, si considera a questo punto la condizione peggiore che risulta essere quella con "carico variabile dominante: neve". Si svolgono di seguito le verifiche agli Stati Limite Ultimi per le sollecitazioni di flessione semplice in mezzera e di taglio in prossimità dell'appoggio.

La verifica a flessione allo Stato Limite Ultimo  $\sigma_{m,d} \leq f_{m,d}$  viene verificata con:

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_d}{W} = 16,04 \text{ MPa} \leq 17,28 \text{ MPa} = \frac{k_{mod} \times f_{m,k}}{\gamma_m}$$

Dove:

$$W = \frac{h^2 \times b}{6}; k_{mod} = 0,9; \gamma_m = 1,25$$

La verifica di taglio  $\tau_d \leq f_{m,d}$  allo SLU risulta verificata con:

$$\tau_d = 1,5 \times \frac{T_d}{A} = 1,02 \text{ MPa} \leq 1,94 \text{ MPa} = \frac{k_{mod} \times f_{v,k}}{\gamma_m}$$

### 5.4.2.2 Trave secondaria T2CP: verifiche SLE

Le caratteristiche reologiche del legno giocano un ruolo fondamentale nel comportamento deformativo globale dell'elemento che è caratterizzato inizialmente da un andamento elastico che, con il progredire del tempo di applicazione dei carichi, diviene poi di tipo visco-elastico. Il progredire della deformazione nel tempo sotto carico costante fa sì che, nella determinazione delle deformazioni, sarà necessario oltre che prendere in considerazione la freccia istantanea dovuta dai carichi di breve durata, anche effettuare delle verifiche anche per quella differita (carichi prolungati) nel tempo.

La deformazione istantanea  $u_{ist}$  provocata da un'azione, si calcola partendo dai valori medi dei moduli elastici  $E_{mean}$  e  $G_{mean}$  per le membrature. La deformazione a lungo termine può essere calcolata utilizzando i valori medi dei moduli elastici ridotti opportunamente mediante il fattore  $(1 / (1 + k_{def}))$  per le membrature e utilizzando un valore ridotto con lo stesso fattore del modulo di scorrimento dei collegamenti. Per legno GL24h:

$$E_{mean,fin} = \frac{E_{mean}}{1 + k_{def}} = 8529,41 \text{ MPa}$$

$$G_{mean,fin} = \frac{G_{mean}}{1 + k_{def}} = 529,41 \text{ MPa}$$

La verifica riguarda il comportamento della struttura sotto i carichi normali a cui è sottoposta durante il suo utilizzo, in modo da assicurare la sua efficienza anche nei riguardi delle opere portate.

La deformazione finale  $u_{fin}$  si valuta come somma delle deformazione istantanea  $u_{ist}$  e delle deformazione dovuta alle deformazioni viscosi  $u_{diff}$ :

$$u_{fin} = u_{ist} + u_{diff}$$

Di seguito si riportano i valori di carico per le combinazioni utilizzate per il calcolo della freccia per la verifica SLE:

- **COMBINAZIONI RARE** del tipo:

$$F_d = G_k + Q_{k,1} + \sum_{i>1} (\Psi_{0,i} \times Q_{k,i})$$

TAB 5.4.18  
Confronto delle combinazioni di carico rare

Affollamento dominante				
Carico permanente proprio/portato	$g_k = 2,22$ kN/m	$\gamma_g = 1,00$		
Carico variabile dominante: affollamento	$q_{k1} = 4,50$ kN/m	$\gamma_q = 1,00$	$\psi_{2,1} = 0,6$	
Carico variabile secondario: neve	$q_{k2} = 3,00$ kN/m	$\gamma_s = 1,00$	$\psi_{2,2} = 0,0$	
<b>F<sub>d</sub> =</b>	<b>8,25</b> kN/m			

Neve dominante				
Carico permanente proprio/portato	$g_k = 2,22$ kN/m	$\gamma_g = 1,00$		
Carico variabile dominante: neve	$Q_{k1} = 3,00$ kN/m	$\gamma_s = 1,00$		
Carico variabile secondario: affollamento	$q_{k1} = 4,50$ kN/m	$\gamma_q = 1,00$	$\psi_{2,1} = 0,6$	
<b>F<sub>d</sub> =</b>	<b>8,40</b> kN/m			

- **COMBINAZIONI FREQUENTI** del tipo:

$$F_d = G_k + \sum_{i>1} (\Psi_{2,i} \times Q_{k,i})$$

TAB 5.4.19  
Confronto delle combinazioni di carico frequenti

Affollamento dominante				
Carico permanente proprio/portato	$g_k = 2,22$ kN/m	$\gamma_g = 1,00$		
Carico variabile dominante: affollamento	$q_{k1} = 4,50$ kN/m	$\gamma_q = 1,00$	$\psi_{1,1} = 0,7$	
Carico variabile secondario: neve	$q_{k2} = 3,00$ kN/m	$\gamma_s = 1,00$	$\psi_{2,2} = 0,0$	
<b>F<sub>d</sub> =</b>	<b>5,40</b> kN/m			

Neve dominante				
Carico permanente proprio/portato	$g_k = 2,22$ kN/m	$\gamma_g = 1,00$		
Carico variabile dominante: neve	$Q_{k1} = 3,00$ kN/m	$\gamma_s = 1,00$	$\psi_{1,1} = 0,2$	
Carico variabile secondario: affollamento	$q_{k1} = 4,50$ kN/m	$\gamma_q = 1,00$	$\psi_{2,1} = 0,6$	
<b>F<sub>d</sub> =</b>	<b>5,55</b> kN/m			

- **COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI** del tipo:

$$F_d = G_k + \Psi_{1,1} \times Q_{k,1} + \sum_{i>1} (\Psi_{2,i} \times Q_{k,i})$$

Affollamento dominante				
Carico permanente proprio/portato	$g_k = 2,22$ kN/m	$\gamma_g = 1,00$		
Carico variabile dominante: affollamento	$q_{k1} = 4,50$ kN/m	$\gamma_q = 1,00$	$\psi_{2,1} = 0,6$	
Carico variabile secondario: neve	$q_{k2} = 3,00$ kN/m	$\gamma_s = 1,00$	$\psi_{2,2} = 0,0$	
<b>F<sub>d</sub> =</b>	<b>5,40</b> kN/m			

TAB 5.4.20  
Confronto delle combinazioni di carico quasi permanenti

Affollamento dominante				
Carico permanente proprio/portato	$g_k = 2,22$ kN/m	$\gamma_g = 1,00$		
Carico variabile dominante: neve	$Q_{k1} = 3,00$ kN/m	$\gamma_s = 1,00$	$\psi_{2,2} = 0,0$	
Carico variabile secondario: affollamento	$q_{k1} = 4,50$ kN/m	$\gamma_q = 1,00$	$\psi_{2,1} = 0,6$	
<b>F<sub>d</sub> =</b>	<b>5,40</b> kN/m			

Le verifiche sono state condotte attraverso il calcolo della freccia con un programma di calcolo (Ftool).

Per lo stato limite di esercizio le verifiche sono soddisfatte se:

$$u_{ist} < u_{ist,lim} = \frac{l}{300} \text{ e } u_{fin} < u_{fin,lim} = \frac{l}{200}$$

Dove:

- $u_{ist}$  freccia istantanea viene calcolata con il carico in combinazione rara;
- $u_{fin} = u_{ist} + u_{diff}$  e  $u_{diff} = k_{def} \times u'_{ist}$  e  $u'_{ist}$  calcolata come  $u_{ist}$  utilizzando la combinazione di carico quasi permanente.

Per la trave, *classe di servizio 1*, utilizzo un valore di  $k_{def} = 0,6$ :

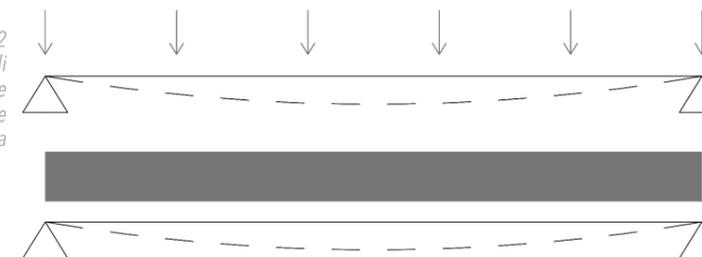
$$u_{ist} = 8,92 \text{ mm} < u_{ist,lim} = \frac{l}{300} = 25 \text{ mm}$$

$$u_{fin} = 19,28 \text{ mm} < u_{fin,lim} = \frac{l}{200} = 37,5 \text{ mm}$$

### 5.4.2.3 Trave primaria T1CP: dimensionamento e verifiche

Per il dimensionamento della trave primaria si considerano come carichi puntuali i valori di taglio dovuti alla connessione dalle travi secondarie portate. Una volta applicati all'elemento si sommano tra di loro i valori ottenuti e, una volta diviso il valore per la lunghezza efficace della trave, li si distribuisce in modo uniforme considerando uno schema statico di trave in semplice appoggio.

FIG. 5.4.22  
Schema di carico agente sulla trave primaria



Le caratteristiche geometriche dell'elemento sono:

Luce fra gli appoggi	l	7,50	m
Interasse fra le travi	i	7,50	m
Base della sezione	b	140	mm
Altezza della sezione	h	480	mm

I carichi agenti sulla trave sono ricavati dalla combinazione di carico fondamentale più gravosa precedentemente calcolata per le travi secondarie (carico variabile dominante: neve):

Carichi uniformemente distribuito	$V_{T1}$	46,00	kN	$g_{k1}$	12,27	kN/m
Peso proprio delle travi	$P_p$	1,92	kN	$g_{k2}$	0,25	kN/m

I valori di momento massimo in mezzeria e taglio agli appoggi sono così ricavati:

$$M_{max} = \frac{q \times l^2}{8} = 88,05 \text{ kNm}$$

$$V_{app} = \frac{q \times l}{2} = 46,96 \text{ kN}$$

Di seguito sono riportate le verifiche agli Stati Limite Ultimi per le sollecitazioni di flessione semplice in mezzeria e di taglio in prossimità dell'appoggio.

La verifica a flessione allo Stato Limite Ultimo  $\sigma_{m,d} \leq f_{m,d}$  viene verificata con:

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_d}{W} = 16,38 \text{ MPa} \leq 17,28 \text{ MPa} = \frac{k_{mod} \times f_{m,k}}{\gamma_m}$$

Dove:

$$W = \frac{h^2 \times b}{6}; k_{mod} = 0,9; \gamma_m = 1,25$$

La verifica di taglio  $t_d \leq f_{m,d}$  allo SLU risulta verificata con:

$$\tau_d = 1,5 \times \frac{T_d}{A} = 1,05 \text{ MPa} \leq 1,94 \text{ MPa} = \frac{k_{mod} \times f_{v,k}}{\gamma_m}$$

Allo stato limite d'esercizio le verifiche sono state condotte come in precedenza facendo uso di un software di calcolo (Ftool), considerando la trave appartenente ad una *classe di servizio 1* ed utilizzo un valore di  $k_{def} = 0,6$ :

$$u_{ist} < u_{ist,lim} = \frac{l}{300} \text{ e } u_{fin} < u_{fin,lim} = \frac{l}{200}$$

$$u_{ist} = 19,5 \text{ mm} < u_{ist,lim} = \frac{l}{300} = 25 \text{ mm}$$

$$u_{fin} = 33,02 \text{ mm} < u_{fin,lim} = \frac{l}{200} = 37,5 \text{ mm}$$

Entrambe le verifiche allo stato limite di esercizio risultano dunque soddisfatte.

### 5.4.2.4 Pilastro P11H: dimensionamento e verifiche

Utilizzando il modello di compressione parallela si effettuano le rispettive verifiche alla resistenza e allo sbandamento per un pilastro in legno lamellare di dimensione 250x250mm.

$$a \times b = 250 \times 250 \text{ mm}$$

$$A_{lorda} = a \times b = 62500 \text{ mm}^2$$

I carichi gravanti sul pilastro dipendono dagli impalcati rispettivamente ripartiti in  $N_1$ , per quelli provenienti dall'impalcato di copertura, e  $N_2$  per quelli dovuti al gravare dal solaio interpiano.

$$N_1 = 275 \text{ kN}$$

$$N_2 = 322,52 \text{ kN}$$

$$N_{tot} = 598,52 \text{ kN}$$

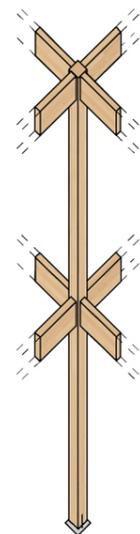


FIG. 5.4.23 Pilastro P11h

La verifica alla resistenza viene condotta affinché venga verificata la disuguaglianza:

$$\sigma_{c,0,d} \leq f_{c,0,d}$$

$$9,58 \text{ MPa} \leq 17,28 \text{ MPa}$$

Con:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A_{lorda}}$$

Dove:

- $\sigma_{c,0,d} = 9,58 \text{ MPa}$  è il valore di calcolo della tensione di compressione nella sezione determinante;
- $f_{c,0,d} = 17,28 \text{ MPa}$  è il valore di calcolo della resistenza alla compressione per il caso considerato di 17,28 MPa;
- $N_d$  è il valore di calcolo dello sforzo assiale per la combinazione di carichi determinante;
- $A_{lorda}$  è l'area dell'asta o della sezione senza intagli.

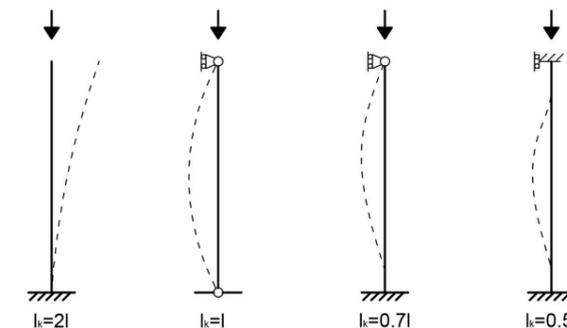
Poiché le aste compresse sono sottoposte al fenomeno di instabilità che può provocarne lo sbandamento laterale, si effettua la verifica allo sbandamento:

$$\sigma_{c,0,d} \leq k_c \times f_{c,0,d}$$

Il coefficiente di tensione critica per lo sbandamento  $k_c$ , tiene conto della possibile instabilità della barra, riducendone la resistenza. Lo sbandamento dipende dalle condizioni geometriche del sistema statico e dalla

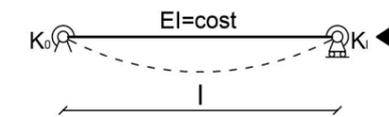
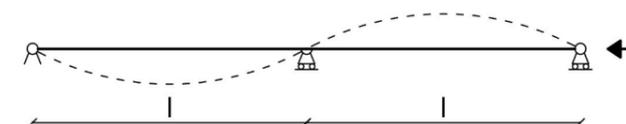
rigidezza della sezione dell'asta considerata. Le condizioni geometriche del sistema sono definite dalla lunghezza di libera inflessione, che rappresenta la lunghezza dell'asta semplice ovvero con due cerniere alle estremità, con la stessa forza critica di sbandamento della barra considerata, cioè con lo stesso comportamento di instabilità. La lunghezza di libera inflessione per i casi più comuni è rappresentata in Figura 5.4.21.

FIG. 5.4.22 Lunghezza di libera inflessione per un'asta soggetta a carico di punta



Trattandosi nel caso in esame di un pilastro continuo portante due impalcati differenti (copertura e solaio interpiano), la lunghezza di libera inflessione deve essere determinata considerando tale elemento come un'asta in continuità flessionale ad un'asta adiacente utilizzando la formula di Newmark come di seguito esposto. Caso di trave con cerniere elastiche:

FIG. 5.4.23 Schema di funzionamento P11H



$$l_0 = \frac{l}{\sqrt{\chi}} = \frac{4,6 \text{ m}}{\sqrt{2,75}} = 2,75 \text{ m}$$

$$\chi = \frac{(0,4 + \alpha_0) \times (0,4 + \alpha_1)}{(0,2 + \alpha_0) \times (0,2 + \alpha_1)} = \frac{(0,4 + 0) \times (0,4 + 0,33)}{(0,2 + 0) \times (0,2 + 0,33)} = 2,75$$

$$\alpha_0 = \frac{EI}{K_0 \times l} = 0 \text{ con } K_0 = \infty$$

$$\alpha_1 = \frac{EI}{K_1 \times l} = \frac{1}{3} \text{ con } K_1 = \frac{3EI}{l}$$

FIG. 5.4.24 Rispetto della continuità flessionale

Per ogni valore di  $k_0$  e  $k_1$  la formula di Newmark comporta un'approssimazione <4%. Il metodo utilizzato per determinare il coefficiente di tensione critica viene denominato "metodo dell'asta equivalente" ed è tratto dall'Eurocodice5:

$$k_c = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 + \lambda_{rel,z}^2}} = 0,62 \text{ con } z \text{ asse di riferimento}$$

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,cril,z}}} = 0,61$$

$$\sigma_{c,cril,z} = \frac{\pi^2 \times E_{0,05}}{\lambda_z^2} = 63,83 \text{ MPa}$$

$$k_z = 0,5 \times [1 + \beta_c \times (\lambda_{rel,z} - 0,5) + \lambda_{rel,z}^2] = 0,69$$

$$\lambda_z = \frac{l_k}{i} = 38,1$$

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}} = 72,17 \text{ mm}$$

Dove:

- $i$  è il raggio d'inerzia della sezione;
- $I$  è l'inerzia della sezione rispetto all'asse perpendicolare al piano in cui avviene lo sbandamento;
- $lk$  è la lunghezza critica di sbandamento;
- $\beta_c$  nel caso di legno lamellare è uguale a 0,1;
- $\lambda_{rel}$  è la snellezza relativa;
- $\lambda_z$  è la snellezza geometrica rispetto all'asse considerato.

Nel caso della tensione critica euleriana  $\sigma_{c,crit,z}$  si usa il valore caratteristico del modulo di elasticità  $E_{0,05}$  in quanto occorre tener conto dello stato limite ultimo per il quale deve essere svolta la verifica.

In coefficiente  $\beta_c$  tiene conto delle differenti tolleranze rispetto alla rettilineità per il legno lamellare incollato e per il legno massiccio: queste tolleranze si manifestano in una diversa curvatura iniziale dell'elemento e influenzano quindi direttamente il suo comportamento in caso di sbandamento.

L'elemento viene così verificato:

$$\sigma_{c,0,d} \leq k_c \times f_{c,0,d}$$

$$9,58MPa \leq 10,67MPa$$

### 5.4.2.5 Connessione trave-trave: dimensionamento della staffa in alluminio

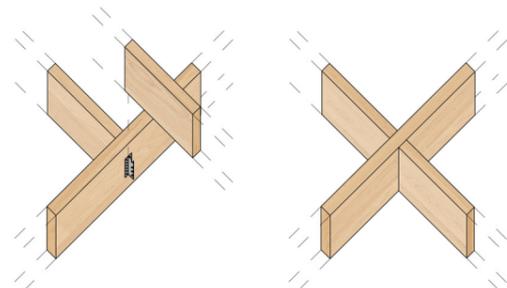


FIG. 5.4.25 Fase di montaggio della staffa a scomparsa

Il collegamento a cerniera tra trave e pilastro può essere realizzato mediante una staffa a scomparsa in lega di alluminio ad alta resistenza. La scelta della giunzione a scomparsa consente di soddisfare i requisiti di resistenza al fuoco, ed allo stesso modo, non interferisce esteticamente sulla composizione del nodo.

La trasmissione degli sforzi tra la trave secondaria e il profilato a "T" avviene tramite degli spinotti lisci Ø12 mentre tra la staffa e la trave primaria, le sollecitazioni sono distribuite mediante una chiodatura totale dell'elemento in alluminio. Le caratteristiche della staffa utilizzata sono:

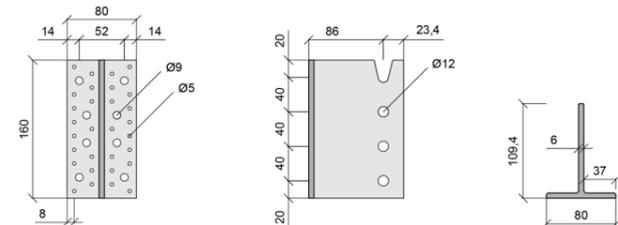


FIG. 5.4.26 Caratteristiche geometriche della staffa in alluminio

TAB 5.4.20 Dimensioni della staffa in alluminio

Tipo: Alumidi 160 mm		
s [mm]	Spessore	6
H [mm]	Altezza	160
L <sub>A</sub> [mm]	Larghezza ala	80
L <sub>B</sub> [mm]	Larghezza anima	109,4
Ø <sub>1</sub> [mm]	Fori piccoli ala	5,0
tipo	Fissaggio fori piccoli ala	Chiodi Anker Ø4
Ø <sub>2</sub> [mm]	Fori grandi ala	9,0
tipo	Fissaggio fori grandi ala	Ancoranti avvitabili Ø10
Ø <sub>3</sub> [mm]	Fori anima (spinotti)	13,0
tipo	Fissaggio fori anima	Spinotti Ø12

Le azioni interne sul nodo sono:  $V_d = 38,37 kN$ .

Gli spinotti utilizzati sono di classe 3.6 e di dimensione Ø12 x 220 mm. Il valore caratteristico di snervamento  $f_{y,k}$  vale 235 N/mm<sup>2</sup> mentre il valore caratteristico di rottura  $f_{u,k}$  360 N/mm<sup>2</sup>.

Le prescrizioni minime per le spiazzature richiesta dall'Eurocodice5 per  $\alpha=0^\circ$  sono poi state maggiorate a favore di sicurezza nel seguente modo:

TAB 5.4.21 Valori di quota per gli spinotti di progetto

		Valori minimi	Valori adottati
a <sub>1</sub>	Spinotto/bordo-staffa	1,2 x d <sub>0</sub> = 16 mm	20
a <sub>2</sub>	Spinotto/spinotto	3 x d = 36	40
a <sub>3,1</sub>	Spinotto/estremità-trave	max (7 x d; 80 mm) = 84	86
a <sub>4,1</sub>	Sponotto/estradosso-trave	3 x d = 36	40
a <sub>4,2</sub>	Spinotto/intradosso-trave	3 x d = 36	40

Per il calcolo della resistenza di progetto i parametri meccanici e geometrici necessari per la determinazione del valore Rk per i diversi meccanismi di rottura sono la resistenza caratteristica al rifollamento, il momento caratteristico di snervamento, lo spessore degli elementi lignei pari a:

$$t_1 = \frac{b-t}{2} = 114 \text{ mm}$$

Per unioni legno-alluminio a due piani di taglio, poiché ci troviamo in una situazione di piastra sottile dove  $0,5 \cdot d = t$ , il calcolo della resistenza di progetto per i tre diversi modi di rottura avviene per:

$$I_A: R_k = f_{h,1,k} \times t_1 \times d = 111020 \text{ N}$$

$$II_A: R_k = f_{h,1,k} \times t_1 \times d \times \left[ 2 + \frac{4M_{y,k}}{f_{h,1,k} \times d \times t_1^2} - 1 \right] = 16461,5 \text{ N}$$

$$III_A: R_k = 2,3 \times \sqrt{M_{y,k} \times f_{h,1,k} \times d} = 10993 \text{ N}$$

La resistenza caratteristica a rifollamento degli elementi di legno caratterizzati dallo spessore:

$$f_{h,1,k} = 0,082 \times (1 - 0,01 \times d) \times \rho_k = 27,55 \text{ MPa}$$

Il valore caratteristico del momento di snervamento del connettore:

$$M_{y,k} = W_{PL} \times f_{y,k} \cong 0,1 \times f_u \times d^3 = 69100 \text{ N/mm}$$

Il valore di progetto di resistenza di uno spinotto con due piani di taglio, con  $k_{mod}=0,8$ ,  $\gamma_M=1,25$ , risulta:

$$R_d = 2 \times \frac{k_{mod} \times R_k}{\gamma_M} = 14,08 \text{ kN}$$

Lo sforzo tagliante agente su un singolo spinotto vale ( $n_s=4$ ):

$$S_d = \frac{V_d}{n_s} = 9,6 \text{ kN}$$

Da cui la verifica:

$$S_d = 9,6 \text{ kN} < 14,08 \text{ kN} = R_d$$

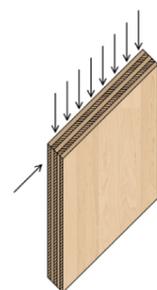


FIG. 5.4.27  
Schema di carico sulla lastra  
XLAM

### 5.4.2.6 Controventi in lastre XLAM

Come precedentemente anticipato uno dei principali sistemi costruttivi a pannelli portanti è detto X-LAM (pannelli lamellari di legno massiccio a strati incrociati) che dal punto di vista strutturale, nell'applicazione in verticale, hanno un comportamento prevalentemente a lastra. Preparati in stabilimento mediante il taglio con macchine a controllo numerico, con un'altezza pari all'altezza di interpiano, una volta arrivati in cantiere i pannelli portanti vengono alloggiati con mezzi meccanici di sollevamento e collegati fra di loro e alle fondazioni, velocizzando la posa di normali sistemi controventanti come croci di S. Andrea in acciaio, o *Ke* crociere in legno lamellare. Le caratteristiche del pannello utilizzato per i sistemi di controvento sono XLAM a 5 strati (es. KLH 162 mm; 34-30-34-30-34) e le caratteristiche del legno utilizzato per la produzione della lastra sono:

	$f_{m,k}$ [MPa]	$f_{t,0,k}$ [MPa]	$f_{t,90,k}$ [MPa]	$f_{c,0,k}$ [MPa]	$f_{c,90,k}$ [MPa]	$f_{v,k,azzer}$ [MPa]	$f_{k,0}$ [MPa]	$f_{k,90}$ [MPa]	$E_{0,mean}$ [MPa]	$E_{0,05}$ [MPa]	$E_{R0,mean}$ [MPa]	$G_{mean}$ [MPa]	$G_{k,mean}$ [MPa]	$\rho_k$ [kg/m <sup>3</sup> ]
C 24 XLAM	24	14	0,4	21	2,5	4	0,8	2,5	11000	7400	370	690	50	350

Il sistema di connessione dei giunti tra i vari pannelli XLAM delle pareti composte da più elementi è realizzata attraverso viti incollate spaziate tra di loro in base alle verifiche di resistenza opportune.

Le pareti sono vincolate alla base mediante una serie di sistemi di fissaggio costituiti da angolari, viti e tasselli, che impediscono la traslazione trasversale della parete. Per impedire inoltre la rotazione nel piano della parete si dispongono degli hold-

down allo scopo di assorbire la forza di trazione che nasce in prossimità del lato che tende a sollevarsi. Tale forza di trazione è valutata sulla base di un momento flettente  $M_{3-3}$  agente nel piano della parete, tenendo anche conto del carico assiale verticale *N*. Quest'ultimo agisce sulla parete offrendo un contributo stabilizzante nei confronti del ribaltamento.

Nel caso in cui l'ancoraggio contribuisce attivamente ad evitare il ribaltamento della parete:

$$T = \left( \frac{M_{3-3}}{b} - \frac{N}{2} \right) \cdot \frac{1}{n_{anc}}$$

in caso contrario, in cui il carico verticale è sufficiente ad evitare il ribaltamento, *T* viene assunto nullo.

Alcuni esempi di connessioni atte ad impedire il fenomeno di hold-down sono riportate in *Figura 5.4.29* e sono rispettivamente "giunto legno-cemento" nel caso di attacco a terra, giunto

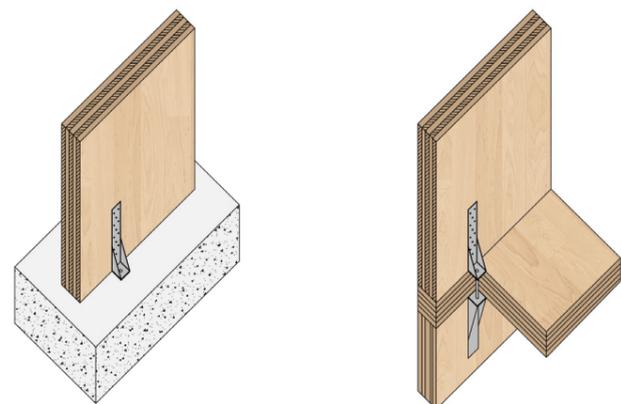
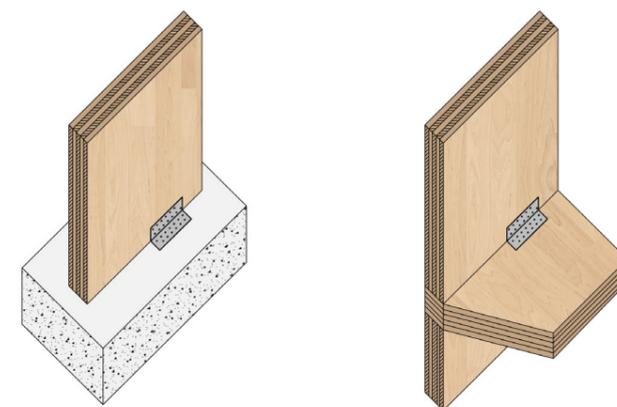


FIG. 5.4.29  
Connessione  
hold-down  
legno-cemen-  
to e doppio  
hold-down  
legno-legno

FIG. 5.4.30  
Giunto  
angolare le-  
gno-cemento  
e legno-legno



"doppio hold-down" nel caso di connessione lastra-piastra-piastra; vengono inoltre utilizzati dei giunti angolari "legno-legno" e "legno-cemento" per vincolare tra di loro gli elementi strutturali *Figura 5.3.30*.

Nel caso di pareti XLAM come nel suddetto caso, la rigidezza globale viene valutata considerando il contributo dei pannelli  $k_{XLAM}$ , degli angolari resistenti a taglio ( $k_a$ ) e degli angolari resistenti a trazione ( $k_h$ ).

Per le verifiche relative alla resistenza dell'elemento XLAM:

- verifiche all'instabilità;
- verifica a compressione parallela alla fibratura;
- verifica a taglio;
- verifica del meccanismo di rottura per torione.

### 5.4.3 Struttura a portale: la palestra

FIG. 5.4.31  
Vista  
longitudinale  
del singolo  
elemento a  
portale



FIG. 5.4.32  
Pianta strut-  
turale della  
palestra

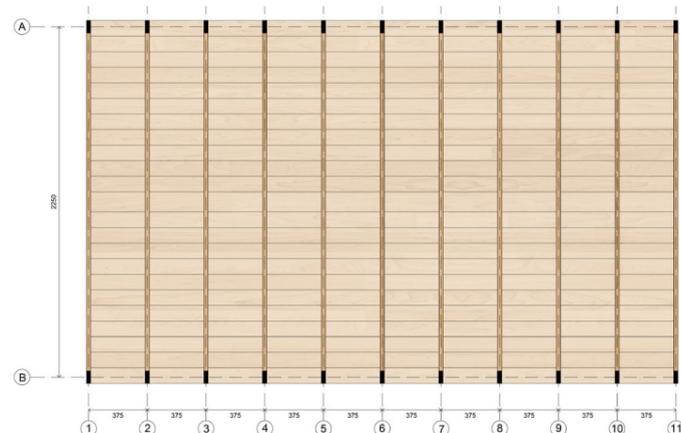
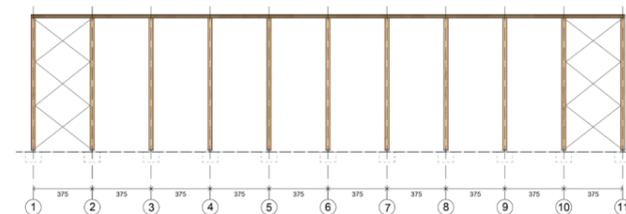


FIG. 5.4.33  
Vista trasver-  
sale della  
palestra



#### 5.4.3.1 Trave T3P: verifiche SLU

Per il calcolo e la verifica della struttura a portale costituente il blocco dedicato alle attività sportive, si utilizza un legno lamellare GL32h caratterizzato da una massa volumica  $\rho_k = 430 \text{ kg/m}^3$ , e da i seguenti valori di resistenza:

Valori caratteristici		Valori di progetto	$k_{mod,I} = 0,9$	$k_{mod,II} = 0,6$
$f_{m,y,k}$ (Mpa)	32	$f_{m,y,d}$ (Mpa)	23,04	15,36
$f_{m,z,k}$ (Mpa)	32	$f_{m,z,d}$ (Mpa)	23,04	15,36
$f_{t,0,k}$ (Mpa)	22,5	$f_{t,0,d}$ (Mpa)	16,20	10,80
$f_{t,90,k}$ (Mpa)	0,5	$f_{t,90,d}$ (Mpa)	0,36	0,24
$f_{c,0,k}$ (Mpa)	29	$f_{c,0,d}$ (Mpa)	20,88	13,92
$f_{c,90,k}$ (Mpa)	3,3	$f_{c,90,d}$ (Mpa)	2,38	1,58
$f_{v,k}$ (Mpa)	3,8	$f_{v,d}$ (Mpa)	2,74	1,82
<b>Valori di modulo elastico</b>				
$E_{0,mean}$	13700 Mpa	$E_{mean,fin}$	10073,53 Mpa	
$E_{0,05}$	11100 Mpa			
$G_{mean}$	850 Mpa	$G_{mean,fin}$	625,00 Mpa	

TAB 5.4.22  
Valori di resi-  
stenza legno  
lamellare  
GL32h

Per il dimensionamento dell'elemento trave, si considere il caso di una trave di legno lamellare in semplice appoggio, soggetta ad un carico uniformemente distribuito.

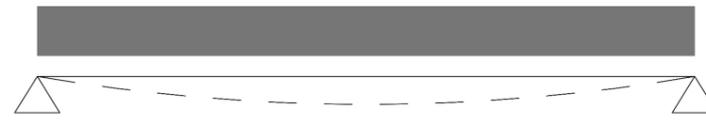


FIG. 5.4.34  
Schema di tra-  
ve in semplice  
appoggio

Le caratteristiche geometriche dell'elemento sono:

Luce fra gli appoggi	l	22,5 m
Interasse fra le travi	i	3,75 m
Base della sezione	b	260 mm
Altezza della sezione	h	1200 mm

Dall'analisi dei carichi, i carichi agenti sul telaio, linearizzati sulla luce della trave sono:

TAB 5.4.23  
Carichi vertica-  
li agenti

Carichi permanenti	gk1	0,91	kN/m <sup>2</sup>	3,4125	kN/m
Peso proprio delle travi	gk2			1,3416	kN/m
Carico variabile: neve	q2k	1,2	kN/m <sup>2</sup>	4,5	kN/m
Carico variabile: manutenzione	q1k	0,5	kN/m <sup>2</sup>	1,875	kN/m

Ai fini di una corretta distribuzione dell'entità dei carichi agenti sulla struttura, si procede con la loro combinazione per determinarne la situazione più sfavorevole da utilizzare per le verifiche SLU. Come già introdotto sono determinate mediante la formula:

$$F_d = \gamma_g \times G_k + \gamma_q \times [Q_{k1} + \sum_{i>1} (\psi_{0,i} \times Q_{k,i})]$$

Si distinguono di seguito i due casi studiati considerando per primo il carico variabile dovuto alla manutenzione come dominante e per secondo quello della neve.

TAB 5.4.24  
Combinazione  
dei carichi A

Manutenzione dominante				
Carico permanente proprio/portato	gk =	4,7541	kN/m	yg = 1,35
Carico variabile dominante: manutenzione	q1k =	1,875	kN/m	yg = 1,5
Carico variabile secondario: neve	q2k =	4,5	kN/m	yg = 1,5
				$\psi_{0,2} = 0,5$

- $F_d = 12,61 \text{ kN/m}$
- $M_{max} = 797,69 \text{ kNm}$
- $T_{app} = 141,81 \text{ kN}$

TAB 5.4.25  
Combinazione  
dei carichi B

Neve dominante				
Carico permanente proprio/portato	gk =	4,7541	kN/m	yg = 1,35
Carico variabile dominante: neve	q2k =	4,5	kN/m	yg = 1,5
Carico variabile secondario: manutenzione	q1k =	1,875	kN/m	yg = 1,5
				$\psi_{0,1} = 0$

- $F_d = 13,17 \text{ kN/m}$
- $M_{max} = 833,29 \text{ kNm}$
- $T_{app} = 148,14 \text{ kN}$

Per la determinazione della condizione di carico più severa si confrontano i risultati così ottenuti in rapporto al coefficiente  $k_{mod}$  rappresentativo della classe di durata del carico. Poiché le combinazioni dei carichi comprendono azioni appartenenti a differenti classi di durata, si dovrà scegliere il lavoro di  $k_{mod}$  che corrisponde alle azioni di minor durata ( $k_{mod} = 0,9$ ). Si considera a questo punto la condizione peggiore che risulta essere quella con *carico variabile dominante: neve*. Si svolgono di seguito le verifiche agli Stati Limite Ultimi per le sollecitazioni di flessione semplice in mezzera e di taglio in prossimità dell'appoggio.

La verifica a flessione allo Stato Limite Ultimo  $\sigma_{m,d} \leq f_{m,d}$  viene verificata con:

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_d}{W} = 12,78 \text{ MPa} \leq 23,04 \text{ MPa} = \frac{k_{mod} \times f_{m,k}}{\gamma_m}$$

Mentre la verifica di taglio  $t_d \leq f_{m,d}$  allo SLU risulta verificata con:

$$\tau_d = 1,5 \times \frac{T_d}{A} = 0,68 \text{ MPa} \leq 2,74 \text{ MPa} = \frac{k_{mod} \times f_{v,k}}{\gamma_m}$$

#### 5.4.3.2 Trave T3P: verifiche SLE

Le caratteristiche reologiche del legno giocano un ruolo fondamentale nel comportamento deformativo globale dell'elemento che, caratterizzato da un andamento inizialmente elastico, diviene poi di tipo visco-elastico, portando il progredire della deformazione nel tempo sotto carico costante. Oltre a prendere in considerazione la freccia istantanea dovuta dai carichi di breve durata, verificare anche quella differita da

carichi prolungati nel tempo. La deformazione istantanea  $u_{ist}$  provocata da un'azione, si calcola partendo dai valori medi dei moduli elastici  $E_{mean}$  e  $G_{mean}$  per le membrature. La deformazione a lungo termine può essere calcolata utilizzando i valori medi dei moduli elastici ridotti opportunamente mediante il fattore  $1/(1+k_{def})$  per le membrature e utilizzando un valore ridotto con lo stesso fattore del modulo di scorrimento dei collegamenti.

Per il legno lamellare GL32h:

$$E_{mean,fin} = \frac{E_{mean}}{1+k_{def}} = 10074 \text{ MPa}$$

$$G_{mean,fin} = \frac{G_{mean}}{1+k_{def}} = 625 \text{ MPa}$$

La verifica riguarda il comportamento della struttura sotto i carichi normali a cui è sottoposta durante il suo utilizzo, in modo da assicurare la sua efficienza anche nei riguardi delle opere portate. La deformazione finale  $u_{fin}$  si valuta come somma delle deformazione istantanea  $u_{ist}$  e delle deformazione viscosa  $u_{diff}$ :

$$u_{fin} = u_{ist} + u_{diff}$$

La deformazione finale  $u_{fin}$  si calcola sulla base della combinazione quasi permanente. Ipotizzando che tutti gli elementi componenti siano caratterizzati da medesimi comportamenti reologici e da comportamento elastico-lineare, essa si esprime come:

$$u_{fin} = u_{fin,G} + u_{fin,Q1} + u_{fin,Qi}$$

Dove:

- $u_{fin,G} = u_{ist,G} \times (1 + k_{def})$  per azioni permanenti G;
- $u_{fin,Q1} = u_{ist,Q1} \times (1 + \psi_{0,i} \times k_{def})$  per azioni contemporanee  $Q_1$ ;
- $u_{fin,Qi} = u_{ist,Qi} \times (\psi_{0,i} + \psi_{2,i} \times k_{def})$  per azioni contemporanee  $Q_i > 1$ ;
- $u_{ist,G}$ ,  $u_{ist,Q1}$ ,  $u_{ist,Qi}$  rispettive deformazioni istantanee per le azioni G,  $Q_1$ ,  $Q_i$ ;
- $\psi_{0,i}$  sono fattori per le azioni variabili;
- $\psi_{2,i}$  sono i fattori per le azioni quasi permanenti;
- $k_{def}$  il coefficiente in funzione della durata di esposizione del carico e della classe di utilizzo.

La freccia netta  $u_{net}$  riferita alla corda congiungente i punti della trave in corrispondenza degli appoggi è composta da tre contributi deformativi ed è data da:

$$u_{net} = u_1 + u_2 - u_0$$

Dove:

- $u_0$  controfreccia (se presente);
- $u_1$  freccia dovuta a carichi permanenti;
- $u_2$  freccia dovuta a carichi variabili.

Le verifiche sono state condotte determinando freccia, il momento e il taglio massimi con un programma di calcolo (Ftool), che considera il comportamento del telaio nel suo insieme. Di seguito sono riportati i valori di carico per le combinazioni utilizzate per il calcolo della freccia per la verifica SLE ed i grafici delle combinazioni più gravose per la struttura.

#### COMBINAZIONE RARA

Affollamento dominante				
Carico permanente proprio/portato	gk = 4,7541	kN/m	yg = 1,0	
Carico variabile dominante: affollamento	q1k = 1,875	kN/m	yg = 1,0	
Carico variabile secondario: neve	q2k = 4,5	kN/m	yg = 1,0	$\psi_{0,2} = 0,5$
Neve dominante				
Carico permanente proprio/portato	gk = 4,7541	kN/m	yg = 1,0	
Carico variabile dominante: neve	q2k = 4,5	kN/m	yg = 1,0	
Carico variabile secondario: affollamento	q1k = 1,875	kN/m	yg = 1,0	$\psi_{0,1} = 0$

TAB 5.4.26  
Combinazioni  
di carico rare  
sul portale

- $F_{d,aff} = 8,88 \text{ kN}$
- $F_{d,neve} = 9,25 \text{ kN}$

Considerando quindi la combinazione rara: neve dominante, otteniamo i seguenti valori per le azioni interne:

- $N = 42,6 \text{ kN}$
- $V_{max} = 104,1 \text{ kN}$
- $M_{max} = 346,5 \text{ kNm}$
- $u_{ist} = 31 \text{ mm}$  (freccia massima in mezzeria)

#### COMBINAZIONE QUASI PERMANENTE:

Affollamento dominante				
Carico permanente proprio/portato	gk = 4,7541	kN/m	yg = 1,0	
Carico variabile dominante: affollamento	q1k = 1,875	kN/m	yg = 1,0	$\psi_{1,1} = 0,7$
Carico variabile secondario: neve	q2k = 4,5	kN/m	yg = 1,0	$\psi_{2,2} = 0,0$
Neve dominante				
Carico permanente proprio/portato	gk = 4,7541	kN/m	yg = 1,0	
Carico variabile dominante: neve	q2k = 4,5	kN/m	yg = 1,0	$\psi_{1,2} = 0,2$
Carico variabile secondario: affollamento	q1k = 1,875	kN/m	yg = 1,0	$\psi_{2,1} = 0$

TAB 5.4.27  
Combinazioni  
di carico quasi  
permanente  
sul portale

- $F_d = 4,75 \text{ kN}$
- $N = 21,9 \text{ kN}$
- $V_{max} = 53,4 \text{ kN}$
- $M_{max} = 177,9 \text{ kNm}$
- $u_{ist} = 16 \text{ mm}$  (freccia massima in mezzeria)

Per lo stato limite di esercizio le verifiche si intendono dunque soddisfatte se:

$$u_{ist} = 31 \text{ mm} < u_{ist,lim} = \frac{l}{300} = 75 \text{ mm}$$

Dove:

- $u_{ist}$  freccia istantanea viene calcolata con il carico in combinazione rara;
- $u_{fin} = u_{ist} + u_{diff}$ ;
- $u_{diff} = k_{def} \times u_{ist}$ ;
- $u_{ist}$  calcolata come  $u_{ist}$  utilizzando la combinazione di carico quasi permanente.

Per la trave in *classe di servizio 1*, utilizzo un valore di  $k_{def} = 0,6$  :

$$u_{lt} = 31 \text{ mm} < u_{lt,lim} = \frac{l}{300} = 75 \text{ mm}$$

$$u_{fm} = 40,7 \text{ mm} < u_{fm,lim} = \frac{l}{200} = 112,5 \text{ mm}$$

Entrambe le verifiche allo SLE risultano dunque soddisfatte.

### 5.4.3.3 Pilastro P3P: verifica di resistenza

Per quanto riguarda le verifiche per il pilastro costituente il portale, si introduce il concetto di stabilità dell'equilibrio poiché la resistenza più vincolante per un elemento compresso non è tanto quella legata ad un criterio di resistenza della sezione, ma piuttosto ad un criterio di stabilità dell'equilibrio.

L'equilibrio di un sistema elastico può essere di tipo stabile o instabile a seconda che il carico assiale agente sia rispettivamente minore o maggiore di un parametro detto carico critico.

Nel caso di equilibrio stabile si ha che l'azione agente  $N$  deve risultare inferiore del carico critico  $N_{cr}$ , l'espressione euleriana per il carico critico dell'asta compressa è:

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \times E \times J}{l_0^2}$$

Dove:

- $E$  è il modulo di elasticità della sezione;
- $J$  è il momento di inerzia della sezione;
- $l_0$  è la lunghezza di libera inflessione che varia al variare delle condizioni di vincolo. Nel caso in esame risulta pari all'altezza del montante.

base della sezione	b	260 mm
altezza della sezione	h	800 mm

TAB 5.4.28  
Dimensioni  
pilastro  
portale

È tuttavia più conveniente considerare l'espressione in termini di sforzi, dividendo entrambi i membri per l'area della sezione:

$$\sigma_{cr} = \frac{N_{cr}}{A} = \frac{\pi^2 \times E}{\lambda^2}$$

- $\lambda$  è la snellezza della sezione, pari a:  $\lambda = l_0/i = 7$ ;
- $i$  è il raggio giratore di inerzia, che nel caso di sezione rettangolare, è pari a:  $i = h/(\sqrt{12})$ ;
- $d$  è l'altezza della sezione nel piano di flessione.

Equagliando la relazione di sforzo critico con quella per il carico critico, si ottiene il valore di snellezza critica, che rappresenta il discriminante tra aste tozze e aste snelle:

$$\lambda_{cr} = \pi \times \sqrt{\frac{E}{f_{c,0}}} = 80,45$$

Per  $\lambda \leq \lambda_{cr}$ , *asta tozza*, risulta più stringente la verifica di resistenza mentre per  $\lambda \geq \lambda_{cr}$ , *asta snella*, risulta più stringente la verifica di instabilità. In questo caso la verifica al collasso della colonna può essere quindi riscritta nel modo seguente:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_c \times f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} = 0,8 \leq 1$$

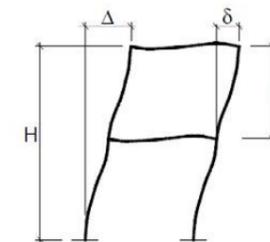
Dove:

- $k_c = 1$  per  $\lambda \leq \lambda_{cr}$ ;
- $\sigma_{c,0,d} = N/A = 0,73 \text{ MPa}$ ;
- $\sigma_{m,d} = M/W = 17,61 \text{ MPa}$ .

### 5.4.3.4 Telaio longitudinale: verifiche alla deformabilità

Le verifiche successive sono riguardanti gli spostamenti orizzontali dovuti all'azione del vento e del sisma calcolati rispettivamente in combinazione di carico rara ed in combinazione di carico eccezionale secondo quanto indicato dalle NTC 2008.

FIG. 5.4.35  
Schema di  
deformazione  
e relativi valori  
NTC 2008



Per quanto riguarda l'azione del vento, gli spostamenti limite per la struttura monopiano di riferimento sono ricavati dalla relazione:

$$\delta < \frac{h}{300}$$

La forza orizzontale dovuta al vento è stata calcolata moltiplicando la pressione del vento, per l'interesse tra ciascun portale e moltiplicata per il rispettivo coefficiente di condizione di sopravvento e sottovento. Il carico distribuito ottenuto è stato applicato in entrambe le direzioni della struttura a portale.

Utilizzando la combinazione di carico rara, anche in questo caso gli spostamenti sono stati calcolati con un programma di calcolo (FTool):

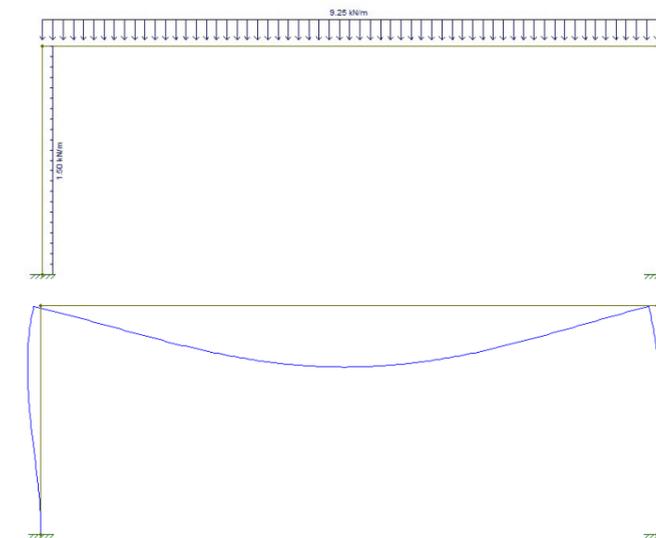


FIG. 5.4.36  
Schema di  
carico verticale  
e orizzontale  
sul portale  
longitudinale

FIG. 5.4.37  
Rappresen-  
tazione della  
deformata  
qualitativa

Per il pilastro sopravvento PB4 il valore  $F_s = 3 \text{ kN/m}$  e la verifica viene verificata per:

$$\delta_1 = 4 \text{ mm} < 28 \text{ mm} = \frac{h}{300}$$

Per il pilastro sottovento PA4 il valore  $F_s = 1,5 \text{ kN/m}$  e la verifica viene verificata per:

$$\delta_2 = 3,6 \text{ mm} < 28 \text{ mm} = \frac{h}{300}$$

I limiti di spostamento dovuti all'azione del sisma sono sempre ricavati dalle Nuove tecniche per le costruzioni e sono dati dalla relazione:

$$d_r = (0,005 \times h) \times \frac{2}{3}$$

La forza sismica è calcolata come:

$$F_i = F_h \times z_i \times \frac{W_i}{\sum_j z_j \times W_j}$$

$$F_h = S_d(T_1) \times W \times \frac{\lambda}{g} = 68,34 \text{ kN}$$

Dove:

- $F_i$  è la forza applicata alla massa i-esima;
- $W_i$  e  $W_j$  sono i pesi della massa i-esima e j-esima;
- $z_i$  e  $z_j$  è l'ordinata dello spettro di risposta di progetto, calcolata per lo SLO;
- $S_d(T_1) = 0,89 \text{ kN}$  è l'ordinata dello spettro di risposta;
- $W = 753,3 \text{ kN}$  è il peso complessivo della costruzione;
- $\lambda = 1$  quando  $T_1 < 2T_C$ ;
- $g = 9,81 \text{ m/s}^2$  è l'accelerazione di gravità terrestre.

Il risultato ottenuto è stato così suddiviso sugli 11 portali costituenti la struttura principale della palestra e distribuito tra i due montanti del portale in modo proporzionale alla loro massa. Attraverso una simulazione degli spostamenti dovuti al carico così ottenuto, la verifica più stringente in termini di sforzi, risulta essere ad ogni modo quella dovuta al vento.

### 5.4.3.5 Connessione rigida trave-pilastro

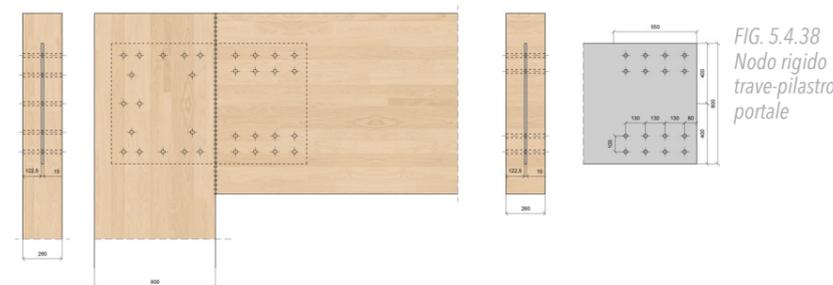


FIG. 5.4.38  
Nodo rigido  
trave-pilastro  
portale

L'unione ad incastro tra trave e pilastro trasmette, oltre alle azioni normali e di taglio, anche momenti flettenti. Per far sì che questo avvenga il giunto utilizzato, deve impedire ogni rotazione relativa tra gli elementi strutturali che devono essere messi tra loro in continuità flessionale. L'unione utilizzata prevede l'utilizzo di due piastre in acciaio alloggiata all'interno di un'apposita fresatura e saldate fra di loro su di una piastra di testa su cui a sua volta vi è saldata una piastra per la giunzione del pilastro. La trasmissione degli sforzi tra il pilastro ligneo e le piastre di acciaio avviene tramite spinotti. Affinchè vi sia continuità flessionale è necessario posizionare gli spinotti quanto più possibile lontani dall'asse di rotazione del collegamento rispettando i limiti di distanza minima dai bordi previsti dalla norma. Le azioni interne sul nodo sono:

- $N_d = 104,2 \text{ kN}$
- $V_d = 42,6 \text{ kN}$
- $M_d = 238,8 \text{ kNm}$

Gli spinotti utilizzati sono di classe 5.6 e di dimensione  $\varnothing 26 \times 260 \text{ mm}$ . Il valore caratteristico di snervamento  $f_{y,k}$  vale  $300 \text{ n/mm}^2$  mentre il valore caratteristico di rottura  $f_{u,k}$   $550 \text{ n/mm}^2$ .

Le prescrizioni minime per le spiazzature richiesta dall'Eurocodice5 per  $\alpha=0^\circ$  sono poi state modificate a favore di sicurezza nel seguente modo:

		Valori minimi	Valori adottati
a <sub>s</sub>	Spinotto/bordo-staffa	1,2 × d <sub>s</sub>	
a <sub>2</sub>	Spinotto/spinotto	3 × d = 80	105
a <sub>s,t</sub>	Spinotto/estremità-trave	max (7 × d; 80 mm) = 182	190
a <sub>s,t</sub>	Spinotto/estradosso-trave	3 × d = 80	105
a <sub>s,c</sub>	Spinotto/intradosso-trave	3 × d = 80	105

TAB 5.4.29  
Spiazzature  
Eurocode5  
e soluzioni  
progettuali

Per il calcolo della resistenza di progetto i parametri meccanici e geometrici necessari per la determinazione del valore  $R_k$  per i diversi meccanismi di rottura sono la resistenza caratteristica al rifollamento, il momento caratteristico di snervamento, lo spessore degli elementi lignei pari a:

$$t_1 = \frac{b-t}{2} = 102,5 \text{ mm}$$

Per unioni legno-acciaio a due piani di taglio, poiché ci troviamo in una situazione intermedia tra piastra spessa e sottile dove  $0,5d < t < d$ , il calcolo della resistenza di progetto per i tre diversi modi di rottura avviene per:

$$\text{I}_A: R_k = f_{h,1,k} \times t_1 \times d = 111020 \text{ N}$$

$$\text{II}_A: R_k = f_{h,1,k} \times t_1 \times d \times \left[ \sqrt{2 + \frac{4M_{y,k}}{f_{h,1,k} \times d \times t_1^2}} - 1 \right] = 55862,4 \text{ N}$$

$$\text{III}_A: R_k = 2,3 \times \sqrt{M_{y,k} \times f_{h,1,k} \times d} = 65041 \text{ N}$$

La resistenza caratteristica a rifollamento degli elementi lignei:

$$f_{h,1,k} = 0,082 \times (1 - 0,01 \times d) \times \rho_k = 35 \text{ MPa}$$

Il valore  $k$  del momento di snervamento del connettore:

$$M_{y,k} = W_{PL} \times f_{y,k} \cong 0,1 \times f_u \times d^3 = 878800 \text{ Nmm}$$

Il valore di progetto di resistenza di uno spinotto con due piani di taglio, con  $k_{mod}=0,8$ ,  $\gamma_M=1,25$ , risulta dunque essere:

$$R_d = 2 \times \frac{k_{mod} \times R_k}{\gamma_M} = 71,5 \text{ kN}$$

La resistenza di calcolo totale della connessione documento di Nicole è determinata attraverso la formula:

$$R_{con,d} = k_{def} \times n \times R_d$$

Dove:

- $R_{con,d}$  è la capacità portante di progetto dell'unione;
- $n$  è il numero degli elementi di collegamento allineati;
- $k_{def}$  è il fattore riduttivo di seguito specificato.

e il valore del fattore riduttivo per il calcolo del numero efficace di perni si ottiene dalla formula seguente:

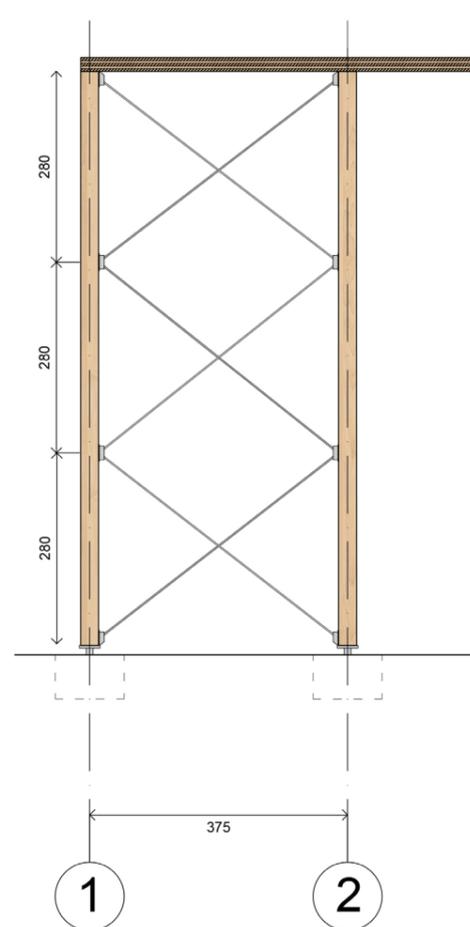
$$k_{def} = \min \left\{ 1, \sqrt[4]{\frac{a_1}{10 \times d} \times \frac{1}{n^{0,1}}} \right\} = 0,73$$

Quindi la resistenza totale delle unioni nell'espressione di verifica risulta essere:

$$F_{t,d} = 398 \text{ kN} \leq 401,5 \text{ kN} = R_{con,d}$$

### 5.4.3.6 Telaio trasversale: dimensionamento dei controventi

FIG. 5.4.39  
Schema di  
controvento  
di progetto  
a croce di S.  
Andrea



La struttura è un elemento tridimensionale costituito da fondazioni, pilastri, travi e solai, che deve essere in grado di assorbire le molteplici sollecitazioni esterne prodotte da forze verticali e orizzontali (vento, sisma, instabilità ecc.). Ogni componente oltre a garantire la resistenza dell'edificio alle sollecitazioni verticali dovute principalmente alle azioni statiche dei pesi propri e portati, deve comprendere elementi in grado di assorbire le forze orizzontali dinamiche del vento e sisma tramite l'utilizzo di elementi irrigidenti. Sono stati scelti in questo caso dei controventi eccentrici a diagonale tesa attiva in acciaio, chiamati comunemente *a croce di Sant'Andrea*. Nonostante le scarse caratteristiche di reazione al fuoco dell'acciaio, nel caso della palestra, i controventi interni sono protetti e nascosti all'interno della parete sud del blocco, mentre quelli esterni sono fuori dal blocco stesso. La scelta della loro posizione in pianta deriva da considerazioni fatte sulla simmetria geometrica e l'omogeneità delle masse dell'edificio, oltre che dall'ipotesi di solaio XLAM opportunamente rigidi e quindi in grado di distribuire le forze di piano.

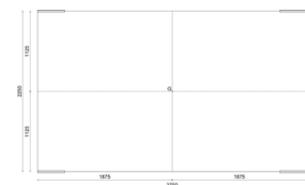


FIG. 5.4.40  
Posizionamento del  
baricentro  
delle masse G

$\Sigma A_i$ [m <sup>2</sup> ]	$X_G$	$Y_G$	a [m]	b [m]
844	18,75	11,25	18,75	18,75

Il calcolo delle reazioni sulla struttura parte dalla determinazione delle forze di vento e sisma ripartite rispettivamente nelle due direzioni assiali tra i quattro controventi presenti sul lato lungo della struttura:

- $F_{h, sisma} = 0,89 \text{ kN}$
- $F_{h, vento} = 12 \text{ kN}$

L'azione più rilevante viene così utilizzata per il dimensionamento degli elementi è prodotta dal vento.

Quanto le rigidità laterali e le masse sono distribuite simmetricamente in pianta, gli effetti torsionali accidentali possono essere considerati amplificando le sollecitazioni su ogni elemento resistente attraverso il fattore  $\delta$ :

$$\delta = 1 + \frac{0,6 \times a}{l_e} = 1 + \frac{0,6 \times 18,75 \text{ m}}{37,5 \text{ m}} = 1,3$$

Dove:

- $l_e$  è la distanza tra i due elementi resistenti più lontani

L'amplificazione della forza risulta dunque essere:

$$F_{H, vento} = F_h \times \delta = 15,6 \text{ kN}$$

A questo punto, risolto il traliccio di controvento e individuata l'azione che fornisce contributo maggiore, si procede al dimensionamento della controventatura. L'azione più gravosa agente sulle aste diagonali è:

$$N_{max} = 126,43 \text{ kN}$$

$$A_{min} = \left( \frac{N_{ed} \times 1,5}{f_{yk}} \right) \times \gamma_{mo}$$

$$R = \sqrt{\frac{A_{min}}{\pi}} = 15,18 \text{ mm}; D = 31 \text{ mm}$$

Viene scelto un profilo di diametro  $\varnothing 31$  con  $A = 754,36 \text{ mm}^2$ . Riassumendo i risultati in *Tabella 5.4.30* si conduce una rapida verifica sulla resistenza del pilastro su cui sono inseriti i controventi considerando l'apporto di azione assiale dal valore  $N_v = 63 \text{ kN}$ .

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_c \times f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} = 0,82 \leq 1$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_p + N_v}{A} = 1,03 \text{ MPa}$$

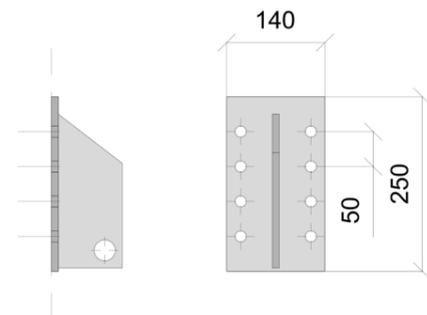
Diagonale "I-L"	
$N_{ed}$ [kN]	126,43
$A$ [mm <sup>2</sup> ]	754,76
$A_{net}$ [mm <sup>2</sup> ]	724,1
$f_{yk}$ [MPa]	275
$f_{tk}$ [MPa]	430
$\gamma_{mo}$	1,05

TAB 5.4.30  
Tabella  
riassuntiva  
sul dimensionamento del  
controvento  
I-L

### 5.4.3.7 Connessione del tirante metallico

La soluzione adottata per il collegamento di uno dei tiranti della croce di S. Andrea del sistema di controvento avviene per mezzo di una piastra metallica collegata a sua volta all'elemento ligneo tramite 6 viti a testa esagonale Ø16 di lunghezza 200 mm con una resistenza a trazione  $f_{u,k} = 500 \text{ MPa}$ .

FIG. 5.4.40  
Dimensioni dell'elemento di connessione controvento pilastro



Le spaziature minime per le viti sono:

TAB 5.4.31  
Spaziature Eurocode5 e soluzioni progettuali

		Valori minimi	Valori adottati
$a_1$	Vite/bordo-staffa	$1,2 \times d_0$	20
$a_2$	Vite/vite	$3 \times d = 48$	50
$a_{3,t}$	Vite/estremità-trave	$\max(7 \times d; 80 \text{ mm}) = 112$	150
$a_{4,t}$	Vite/estradosso-trave	$3 \times d = 48$	50
$a_{6,c}$	Vite/intradosso-trave	$3 \times d = 48$	50

### CARICO TRASVERSALE

Per il calcolo della resistenza di progetto i parametri meccanici e geometrici necessari per la determinazione del valore  $R_k$  per i diversi meccanismi di rottura sono la resistenza caratteristica al rifollamento e il momento caratteristico di snervamento.

Si calcola innanzitutto la profondità  $t_f$  partendo dallo spessore

della piastra  $t=8\text{mm}$  considerata come *piastra sottile*:

$$t_f = t + 1,5d = 168\text{mm}$$

La resistenza caratteristica a rifollamento degli elementi di legno vale:

$$f_{h,1,k} = 0,082 \times (1 - 0,01 \times d) \times \rho_k = 29,62 \text{ MPa}$$

Il valore caratteristico del momento di snervamento del connettore vale:

$$M_{y,k} = 0,08 \times f_u \times d^3 = 163840 \text{ Nmm}$$

Si procede con la determinazione del valore caratteristico della capacità portante a taglio per ogni vite che verrà desunto come il minimo dei valori ottenibili dalle formule relative alle piastre sottili:

$$R_k = \begin{cases} 0,4 \times f_{h,1,k} \times t_1 \times d = 30,71 \text{ kN} \\ 1,6 \times \sqrt{M_{y,k} \times f_{h,1,k} \times d} = 14,01 \text{ kN} \end{cases}$$

Il valore di progetto della capacità portante a taglio vale:

$$R_{d,taglio} = \frac{k_{mod} \times R_k}{\gamma_M} = 12,08 \text{ kN}$$

### CARICO ASSIALE

Poiché la lunghezza di filettatura infissa è inferiore a 10 volte il diametro della vite, la verifica di resistenza a trazione del gambo della vite può considerarsi superflua:

$$l_{ef} = 0,6l = 120\text{mm} < 160\text{mm} = 10d$$

Il valore caratteristico del parametro ad estrazione  $f_{3,k}$  espresso nel documento di Nicole è:

$$f_{3,k} = (1,5 + 0,6d) \times \sqrt{\rho_k} = 230 \text{ N/mm}$$

Il valore caratteristico della capacità portante ad estrazione per ogni vite è pari a:

$$R_k = f_{3,k} \times (lef - d) = 23,92 \text{ kN}$$

Il valore di progetto della capacità portante ad estrazione vale:

$$R_{d,traz} = \frac{k_{mod} \times R_k}{\gamma_M} = 19,22 \text{ kN}$$

Ogni vite è soggetta ad una combinazione di caticco assiale ( $F_{d,traz} = F_d \sin \alpha$ ) e carico laterale a taglio ( $F_{d,taglio} = F_d \cos \alpha$ ) e la verifica è soddisfatta per:

$$\left( \frac{F_{d,traz}}{n_v \times R_{d,traz}} \right)^2 + \left( \frac{F_{d,taglio}}{n_v \times R_{d,taglio}} \right)^2 = 0,85 \leq 1$$

Dove:

TAB 5.4.32  
Valori della combinazione di carico assiale e laterale

$n_v$	$\sin \alpha$	$F_{d,traz}$	$\cos \alpha$	$F_{d,taglio}$
8	0,8	97,6 kN	0,6	73,4 kN

### 5.4.3.8 Resistenza al fuoco: verifiche con il metodo della sezione efficace

La classe di resistenza al fuoco esprime il tempo in minuti durante il quale la struttura resiste all'incendio consentendo agli occupanti di abbandonare l'edificio per raggiungere le apposite aree di raccolta poste all'esterno.

Il metodo delle sezioni efficaci prevede il calcolo di una sezione resistente ottenuta riducendo la sezione iniziale di una profondità di carbonizzazione efficace  $d_{ef}$  calcolata in questo caso, per 60 minuti di margine di sicurezza :

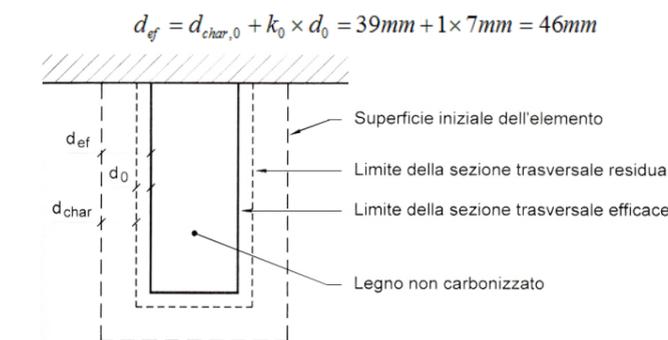


FIG. 5.4.41  
Sezione trasversale, residua ed efficace

Nel caso in esame non si tiene conto dell'effetto smusso che si crea negli spigoli di sezione poiché la minore delle dimensioni di sezione risulta minore del valore  $b_{min}$  :

$$b_{min} = 2 \times d_{char,0} + 80 = 158\text{mm}$$

Dove:

$$d_{char,0} = \beta_0 \times t = 39\text{mm} \geq 13\text{mm} \text{ con } \beta_0 = 0,65\text{mm/min e } t = 60\text{min}$$

Considerando l'esposizione al fuoco su tre lati la sezione efficace risulta essere:

Per una trave  $1200 \times 260 \text{ mm}$

- $h_{ef} = h - d_{ef} = 1200 - 46 = 1154 \text{ mm}$
- $b_{ef} = a - 2 \times d_{ef} = 260 - 2 \times 46 = 168 \text{ mm}$

Per un pilastro  $800 \times 260 \text{ mm}$

- $a_{ef} = h - d_{ef} = 800 - 46 = 754 \text{ mm}$
- $b_{ef} = a - 2 \times d_{ef} = 260 - 2 \times 46 = 168 \text{ mm}$

A questo punto è ora necessario andare a valutare la combinazione di carico eccezionale secondo Eurocodice 5 attraverso il metodo semplificato per ottenere  $E_{d,fi}$ :

$$E_{d,ef} = \eta_{fi} \times E_d$$

A partire dalle azioni interne ricavate nella condizione fondamentale di progetto a temperatura normale  $E_d$ , si vanno a ridurre i valori di un coefficiente  $\eta_{fi}$  che dipende dai vari coefficienti di sicurezza  $\gamma_G$  e  $\gamma_{Q,1}$  applicati sulle azioni caratteristiche permanenti e accidentali oltre che dal coefficiente di combinazione  $\psi_{1,1}$  per valori frequenti.

$$\eta_{fi} = \frac{G_k + \psi_{1,1} \times Q_{k,1}}{\gamma_G \times G_k + \gamma_{Q,1} \times Q_{k,1}} = 0,58$$

Dove:

- $\gamma_G$  è il coefficiente parziale di sicurezza per carichi permanenti in situazione eccezionale e normale;

- $\gamma_{Q,1}$  è il coefficiente parziale di sicurezza per carichi accidentali in situazione normale.
- $G_k$  e  $Q_{k,1}$  sono calcolati con la combinazione di carico fondamentale (caso: neve dominante).

Gk [kN/m]	$\gamma_G$	$Q_{k,1}$ [kN/m]	$\gamma_{Q,1}$	$\psi_{1,1}$
4,75	1,35	5,3	1,5	0,7

I valori delle azioni interne calcolati a temperatura ambiente, sono per la trave:

- $M_d = 833,29 \text{ kNm}$
- $T_d = 148,14 \text{ kN}$

Le azioni di progetto  $E_{d,fi}$  nella situazione di incendio risultano essere:

- $M_{d,fi} = M_d \times \eta_{fi} = 483,3 \text{ kNm}$
- $T_{d,fi} = T_d \times \eta_{fi} = 85,92 \text{ kN}$

Per le resistenze di progetto della sezione efficace vale la seguente equazione:

$$k_{d,fi} = k_{mod,fi} \times \frac{f_{20}}{\gamma_{M,fi}} = 1,15$$

Dove:

- $f_{20}$  è il valore caratteristico di resistenza corrispondente al frattile 20% ( $f_{20}$  si ottiene dal prodotto di due fattori,  $f_k$  il valore caratteristico della resistenza corrispondente

TAB 5.4.33  
Combinazione  
di carico  
fondamentale  
con neve  
dominante

al frattile 5% e  $k_{ff}$  il coefficiente che consente di passare dal valore caratteristico a temperatura ambiente a quelli corrispondenti al frattile 20%, che per il legno lamellare vale 1,15);

- $k_{mod,fi}$  è un fattore di modificazione delle proprietà meccaniche che sostituisce il parametro  $k_{mod}$  a temperatura ambiente assumendosi in questo caso unitario;
- $\gamma_{M,fi}$  è il coefficiente parziale di sicurezza in situazione di incendio di valore unitario.

Le verifiche sono condotte sulla sezione resistente  $1154 \times 168 \text{ mm}$  e sono risultate soddisfatte a flessione  $\sigma_{m,d} \leq f_{m,d}$  con:

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_{d,fi}}{W} = 14,95 \text{ MPa} \leq 27,60 \text{ MPa} = k_{d,fi} \times f_{m,k}$$

A taglio  $t_d \leq f_{m,d}$  con:

$$\tau_d = 1,5 \times \frac{T_d}{A} = 0,66 \text{ MPa} \leq 3,10 \text{ MPa} = k_{mod} \times f_{v,k}$$



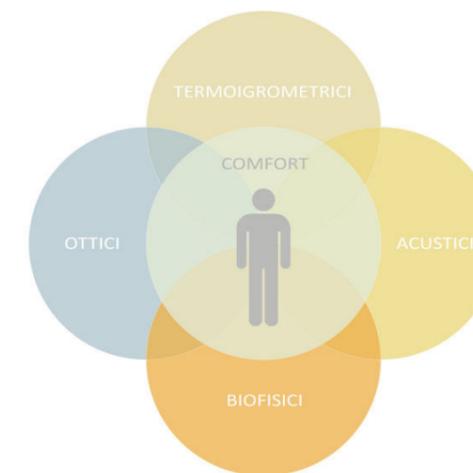
06

SISTEMA TECNOLOGICO  
E IMPIANTI

## 6.1 SOLUZIONI TECNOLOGICHE

### 6.1.1 Termoigrometria

FIG 6.1.1  
Comfort  
abitativo



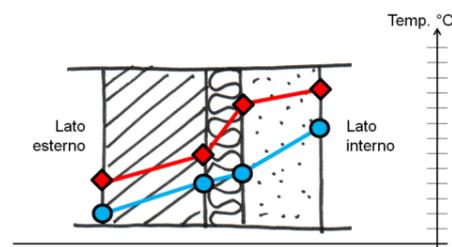
L'involucro edilizio correttamente progettato deve garantire dei livelli di comfort interno soddisfacenti. L'assemblaggio dei materiali deve essere dosato per assolvere diverse funzioni: isolamento termico, acustico, rallentamento o arresto dei flussi di vapore d'acqua, protezione meccanica e chimica della facciata, tenuta all'aria, tenuta all'acqua. Per la progettazione delle stratigrafie si è fatto riferimento alle normative di

riferimento: UNI EN ISO 13786 "prestazione termica dei componenti per edilizia"; UNI EN ISO 13788 "Prestazione igrotermica dei componenti e degli elementi per edilizia" e DPR 59/09 "Requisiti sull'efficienza energetica degli edifici".

La composizione della stratigrafie deve tenere conto che per mantenere le prestazioni, bisogna evitare il rischio di condensa, affinché durabilità e integrità dell'involucro non venga compromessa. La formazione di condensa può essere di due tipi:

- **Superficiale:** quando interessa la superficie interna delle pareti, a causa del raggiungimento di elevati valori di umidità relativa dell'aria interna.
- **Interstiziale:** quando all'interno della parete si creano delle condizioni di temperatura e pressione tali da raggiungere le condizioni di rugiada.

Oltre alla verifica della formazione di condensa superficiale è stata verificata la condensa all'interno di ogni singola parete, avvalendosi del Diagramma di Glaser, che è il metodo grafico attraverso il quale: una volta note la temperatura e l'umidità esterne ed interne; la temperatura, la pressione e le caratteristiche termiche relative ai singoli strati che compongono la parete, si costruiscono la curva delle pressioni

FIG 6.1.2  
Diagramma di  
Glaser

parziali e quella relativa alle pressioni di saturazione, verificando l'eventuale presenza di punti di intersezione tra le due curve.

## 6.1.2 Stratigrafie

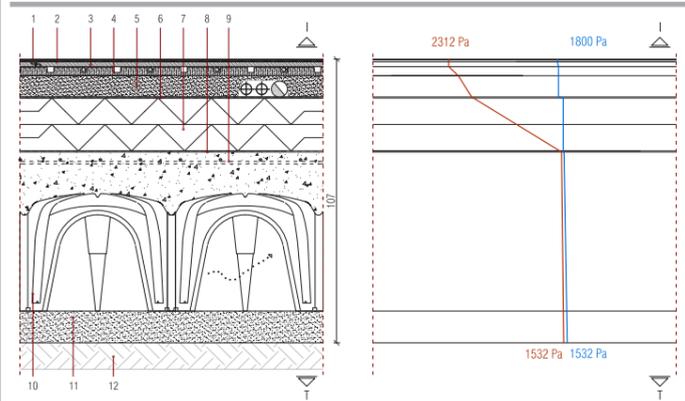
Si è scelto di utilizzare la tecnologia a secco che consente di sovrapporre diversi strati ottenendo svariati vantaggi. Infatti migliora il comportamento termoigrometrico, si riducono le manutenzioni e le spese di gestione, aumentando la durabilità del manufatto. Essendo una tecnologia di elementi assemblati meccanicamente, permette anche il recupero dei materiali alla fine della vita utile dell'edificio.

Nelle seguenti pagine verranno riportate alcune delle stratigrafie che compongono l'edificio. Il miglioramento delle condizioni termoigrometriche presuppone l'eliminazione dei ponti termici, per questo motivo successivamente verranno illustrate le sezioni tecnologiche e i relativi dettagli.

### 6.1.2.1 Chiusure orizzontali

#### C.O. 01 SOLAIO CONTROTERRA ISOLATO

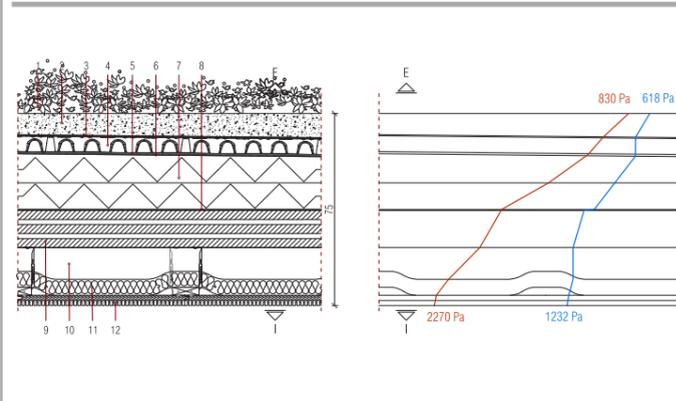
Trasmittanza termica totale **0,15 W/m<sup>2</sup>K**  
 Massa superficiale **584 kg/m<sup>2</sup>**  
 Verifica di condensa superficiale: **positiva**  
 Verifica di condensa interstiziale: **presente con quantità massima**  
 Ma **60 g/m<sup>3</sup> < Mlim 100 g/m<sup>3</sup>**



1. Pavimentazione in linoleum a due strati con strato fonoisolante in sughero; sp. 4 mm
2. Massetto fluido autolivellante con primer; sp. 5 mm
3. Doppie lastre in gessofibra; sp. 18 mm
4. Sistema pavimento radiante a secco; sp. 30 mm
5. Granulare a base di perlite per sottofondi a secco; sp. 80 mm
6. Barriera al vapore in alluminio; sp. 0,3 mm
7. Pannelli termoisolanti in fibra di legno pressata; sp. 2x100 mm,  $\lambda$  0,038 W/mK
8. Telo in polietilene; sp. 1,6 mm
9. Strato portante in cls di riempimento C25/30  $\varnothing$  2400 kg/m<sup>3</sup> con rete metallica elettrosaldata di maglia 15x15 cm e  $\varnothing$ =8mm; sp. 200 mm
10. Casseri a perdere in polipropilene rigenerato per la realizzazione di vespaï aerati, 560x580x450mm
11. Magrone; sp. 120 mm
12. Terreno

#### C.O. 03 COPERTURA VERDE

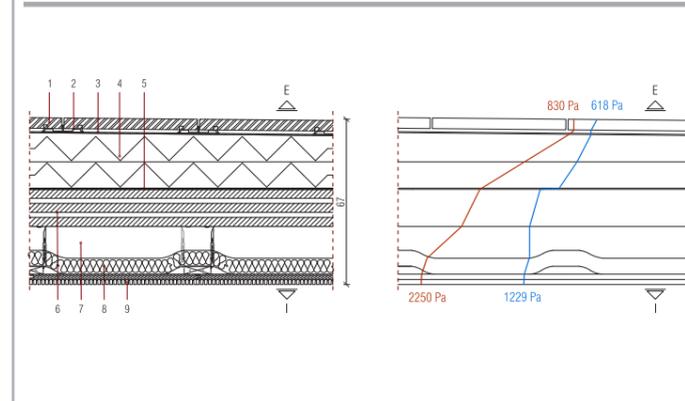
Trasmittanza termica totale **0,079 W/m<sup>2</sup>K**  
 Massa superficiale **98 kg/m<sup>2</sup>**  
 Verifica di condensa superficiale: **positiva**  
 Verifica di condensa interstiziale: **NON PRESENTE**



1. Vegetazione in sedum, erbacee e graminacee
2. Strato colturale; sp. 80 mm
3. Strato separazione in tessuto non tessuto; sp. 1,2 mm
4. Elementi di accumulo idrico e drenaggio in ESP; sp. 55 mm
5. Stuoia di accumulo idrico e protezione della membrana impermeabilizzante; sp. ca. 2mm
6. Membrana bituminosa con additivo antiradice; sp. 4 mm
7. Pannelli termoisolanti in polistirene espanso estruso pendenza 1%; sp. 2x100 mm,  $\lambda$  0,035 W/mK
8. Barriera al vapore in alluminio; sp. 0,3 mm
9. Pannelli Xlam a 5 strati incrociati; sp. 140 mm
10. Controsoffitto con struttura di tiranti e doghe di legno; sp. 180 mm
11. Pannelli fonoisolanti flessibili in fibre di legno; sp. 60 mm
12. Pannelli in legno lamellare con finitura fonoassorbente in larice intagliato; sp. 33 mm

#### C.O. 04 COPERTURA PRATICABILE

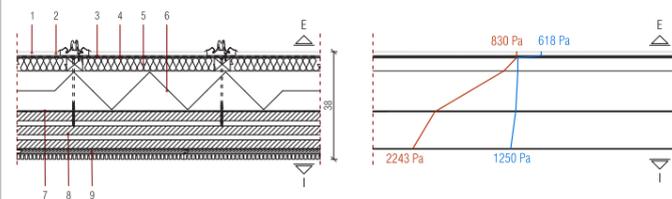
Trasmittanza termica totale **0,103 W/m<sup>2</sup>K**  
 Massa superficiale **149 kg/m<sup>2</sup>**  
 Verifica di condensa superficiale: **positiva**  
 Verifica di condensa interstiziale: **NON PRESENTE**



1. Quadrotti in cemento 50x50; sp. 40 mm
2. Elementi di sostegno; sp. 14 mm
3. Membrana bituminosa; sp. 4 mm
4. Pannelli termoisolanti in polistirene espanso estruso pendenza 1%; sp. 2x100 mm,  $\lambda$  0,035 W/mK
5. Barriera al vapore in alluminio; sp. 0,31 mm
6. Pannelli Xlam a 5 strati incrociati; sp. 140 mm
7. Controsoffitto con struttura di tiranti e doghe di legno; sp. 180 mm
8. Pannelli fonoisolanti flessibili in fibre di legno; sp. 60 mm
9. Pannelli in legno lamellare con finitura fonoassorbente in larice intagliato; sp. 33 mm

## C.O. 05 COPERTURA NON PRATICABILE

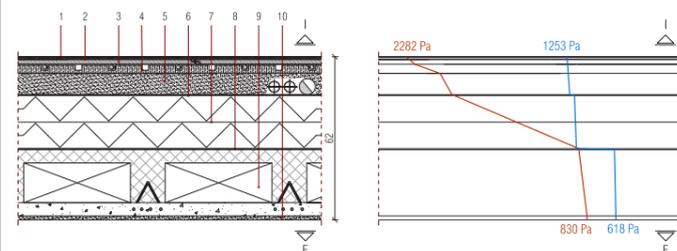
Trasmittanza termica totale **0,134 W/m<sup>2</sup>K**  
 Massa superficiale **107 kg/m<sup>2</sup>**  
 Verifica di condensa superficiale: **positiva**  
 Verifica di condensa interstiziale: **presente con quantità massima**  
**Ma 10 g/m<sup>3</sup> < Mlim 100 g/m<sup>3</sup>**



1. Lastre in lega di alluminio; sp. 0,7 mm
2. Intercapedine d'aria debolmente ventilata; sp. 1 mm
3. Membrana antirombo isolante causticamente; sp. 8 mm
4. Membrana drenante traspirante in polipropilene; sp. 1 mm
5. Pannelli termoisolanti in lana minerale; sp. 50 mm,  $\lambda$  0,032 W/mK
6. Pannelli termoisolanti in polistirene espanso estruso; sp. 150 mm,  $\lambda$  0,035 W/mK
7. Barriera al vapore in alluminio; sp. 0,31 mm
8. Panelli Xlam a 5 strati incrociati; sp. 140 mm
9. Pannelli in legno lamellare con finitura fonoassorbente in larice intagliato; sp. 33 mm

## C.O. 06 SOLAIO SU INTERRATO ISOLATO

Trasmittanza termica totale **0,14 W/m<sup>2</sup>K**  
 Massa superficiale **572 kg/m<sup>2</sup>**  
 Verifica di condensa superficiale: **positiva**  
 Verifica di condensa interstiziale: **presente con quantità massima**  
**Ma 60 g/m<sup>3</sup> < Mlim 100 g/m<sup>3</sup>**

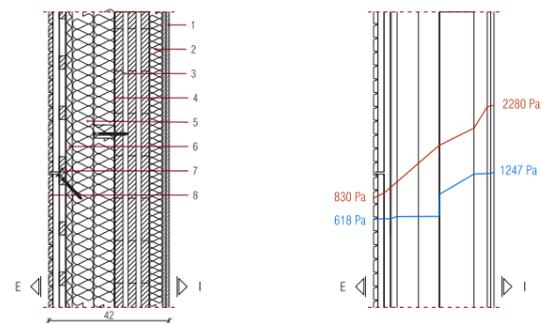


1. Pavimentazione in linoleum a due strati con strato fonoisolante in sughero; sp. 4 mm
2. Massetto fluido autolivellante con primer; sp. 5 mm
3. Lastra in gessofibra; sp. 18 mm
4. Sistema pavimento radiante a secco; sp. 30 mm
5. Granulare a base di perlite per sottofondi a secco; sp. 80 mm
6. Barriera al vapore in alluminio; sp. 0,3 mm
7. Pannelli termoisolanti in fibra di legno pressata; sp. 2x100 mm,  $\lambda$  0,038 W/mK
8. Telo in polietilene; sp. 1,6 mm
9. Lastre predalles con getto di calcestruzzo in opera; sp. 260 mm
10. Intonaco; sp. 2 mm

## 6.1.2.2 Chiusure verticali

## C.V. 01 PARETE ESTERNA CON RIV. IN LEGNO

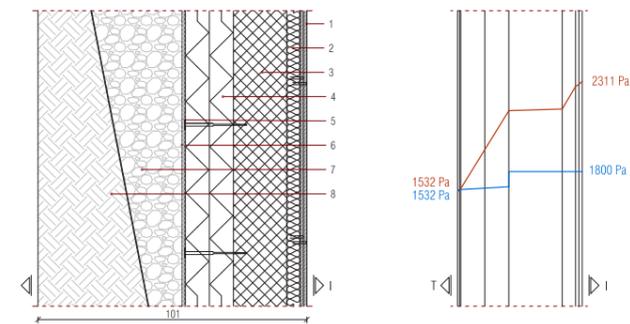
Trasmittanza termica totale **0,137 W/m<sup>2</sup>K**  
 Massa superficiale **101 kg/m<sup>2</sup>**  
 Verifica di condensa superficiale: **positiva**  
 Verifica di condensa interstiziale: **NON PRESENTE**



1. Doppia lastra in gesso rivestito a elevata resistenza; sp. 2x12,5 mm
2. Pannelli fonoisolanti flessibili in fibre di legno; sp. 50 mm
3. Panelli Xlam a 5 strati incrociati; sp. 128 mm
4. Barriera al vapore in alluminio; sp. 0,31 mm
5. Pannelli termoisolanti flessibili in fibre di legno; sp. 2x80 mm,  $\lambda$  0,038 W/mK
6. Pannelli termoisolanti in fibre di legno rinforzati; sp. 20 mm,  $\lambda$  0,047 W/mK
7. Membrana traspirante di tenuta all'acqua e all'aria; sp. 4 mm
8. Pannelli per facciate in legno lamellare con finitura in larice intagliato; sp. 33 mm

## C.V. 03 PARETE CONTROTERRA ISOLATA

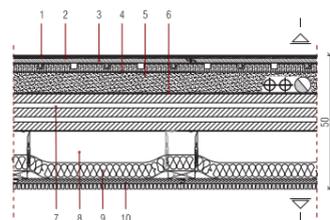
Trasmittanza termica totale **0,145 W/m<sup>2</sup>K**  
 Massa superficiale **529 kg/m<sup>2</sup>**  
 Verifica di condensa superficiale: **positiva**  
 Verifica di condensa interstiziale: **NON PRESENTE**



1. Doppia lastra in gesso rivestito a elevata resistenza; sp. 2x12,5 mm
2. Pannelli fonoisolanti flessibili in fibre di legno; sp. 50 mm
3. Strato portante in cls di riempimento C25/30  $\varnothing$  2400 kg/m<sup>3</sup> con rete metallica elettrosaldata di maglia 15x15 cm e  $\varnothing$  8mm; sp. 200 mm
4. Pannelli termoisolanti in polistirene espanso estruso pendenzato 1%; sp. 100+80 mm,  $\lambda$  0,035 W/mK
5. Membrana bituminosa; sp. 4 mm
6. Membrana alveolare drenante e filtrante in HDPE e geotessile; sp. 8 mm
7. Ghiaia; diametro 50/60 mm
8. Terreno

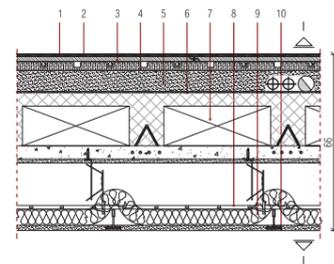
## 6.1.2.3 Partizioni orizzontali

P.O. 01 SOLAIO INTERPIANO



1. Pavimentazione in linoleum a due strati con strato fonoisolante in sughero; sp. 4 mm
2. Massetto fluido autolivellante con primer; sp. 5 mm
3. Lastra in gessofibra; sp. 18 mm
4. Sistema pavimento radiante a secco; sp. 30 mm
5. Granulare a base di perlite per sottofondi a secco; sp. 80 mm
6. Strato di separazione in carta kraft; sp. 0,25 mm
7. Pannelli Xlam a 5 strati incrociati; sp. 140 mm
8. Controsoffitto con substruttura di tiranti e doghe di legno; sp. 180 mm
9. Pannelli fonoisolanti flessibili in fibre di legno; sp. 60 mm
10. Pannelli in legno lamellare con finitura fonoassorbente in larice intagliato; sp. 33 mm

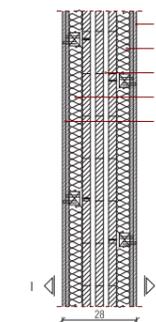
P.O. 02 SOLAIO PIANO TERRA



1. Pavimentazione in linoleum a due strati con strato fonoisolante in sughero; sp. 4 mm
2. Massetto fluido autolivellante con primer; sp. 5 mm
3. Lastra in gessofibra; sp. 18 mm
4. Sistema pavimento radiante a secco; sp. 30 mm
5. Granulare a base di perlite per sottofondi a secco; sp. 80 mm
6. Telo in polietilene; sp. 1,6 mm
7. Lastre predalles con getto di calcestruzzo in opera; sp. 260 mm
8. Controsoffitto con substruttura metallica e pendini; sp. 180 mm
9. Pannelli fonoisolanti flessibili in fibre di legno; sp. 60 mm
10. Lastra in gesso rivestito; sp. 12,5 mm

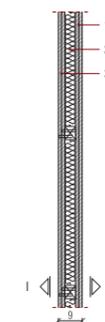
## 6.1.2.4 Partizioni verticali

P.V. 01 PARETE INTERNA



1. Doppia lastra in gesso rivestito a elevata resistenza; sp. 2x12,5 mm
2. Pannelli fonoisolanti flessibili in fibre di legno; sp. 50 mm
3. Pannelli Xlam a 5 strati incrociati; sp. 128 mm
4. Pannelli fonoisolanti flessibili in fibre di legno; sp. 50 mm
5. Doppia lastra in gesso rivestito a elevata resistenza; sp. 2x12,5 mm

P.V. 01 PARETE INTERNA LEGGERA



1. Doppia lastra in gesso rivestito a elevata resistenza; sp. 2x12,5 mm
2. Pannelli fonoisolanti flessibili in fibre di legno e sottostruttura in legno; sp. 50 mm
3. Doppia lastra in gesso rivestito a elevata resistenza; sp. 2x12,5 mm

## 6.1.3 Sezioni

### 6.1.3.1 Blow up facciata sud-ovest

#### C.O. 03 COPERTURA VERDE

1. Vegetazione in sedum, erbacee e graminacee
2. Strato colturale; sp. 80 mm
3. Strato separazione in tessuto non tessuto; sp. 1,2 mm
4. Elementi di accumulo idrico e drenaggio in ESP; sp. 55 mm
5. Stuoia di accumulo idrico e protezione della membrana impermeabilizzante; sp. ca. 2mm
6. Membrana bituminosa con additivo antiradice; sp. 4 mm
7. Pannelli termoisolanti in polistirene espanso estruso pendenza 1%; sp. 2x100 mm,  $\lambda$  0,035 W/mK
8. Barriera al vapore in alluminio; sp. 0,3 mm
9. Panelli Xlam a 5 strati incrociati; sp. 140 mm
10. Controsoffitto con struttura di tiranti e doghe di legno; sp. 180 mm
11. Pannelli fonoisolanti flessibili in fibre di legno; sp. 60 mm
12. Pannelli in legno lamellare con finitura fonoassorbente in larice intagliato; sp. 33 mm

#### P.O. 01 SOLAIO INTERPIANO

1. Pavimentazione in linoleum a due strati con strato fonoisolante in sughero; sp. 4 mm
2. Massetto fluido autolivellante con primer; sp. 5 mm
3. Lastra in gessofibra; sp. 18 mm
4. Sistema pavimento radiante a secco; sp. 30 mm
5. Granulare a base di perlite per sottofondi a secco; sp. 80 mm
6. Strato di separazione in carta kraft; sp. 0,25 mm
7. Panelli Xlam a 5 strati incrociati; sp. 140 mm
8. Controsoffitto con struttura di tiranti e doghe di legno; sp. 180 mm
9. Pannelli fonoisolanti flessibili in fibre di legno; sp. 60 mm
10. Pannelli in legno lamellare con finitura fonoassorbente in larice intagliato; sp. 33 mm

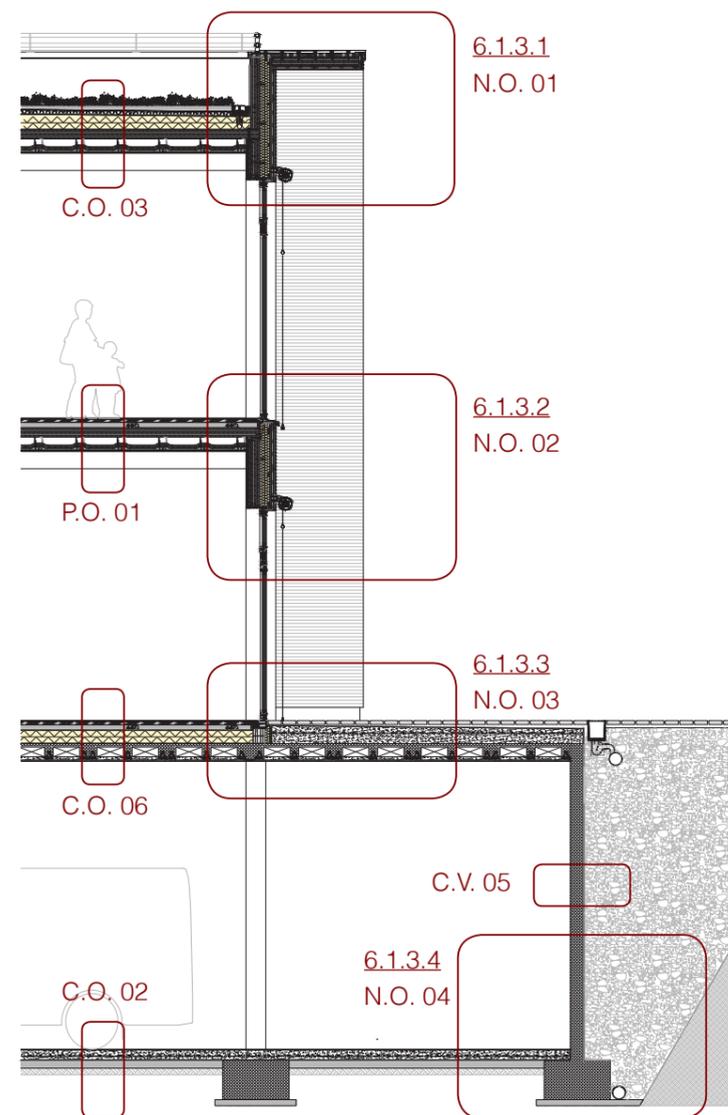


FIG 6.1.3  
Sezione  
verticale

FIG 6.1.4  
Prospetto

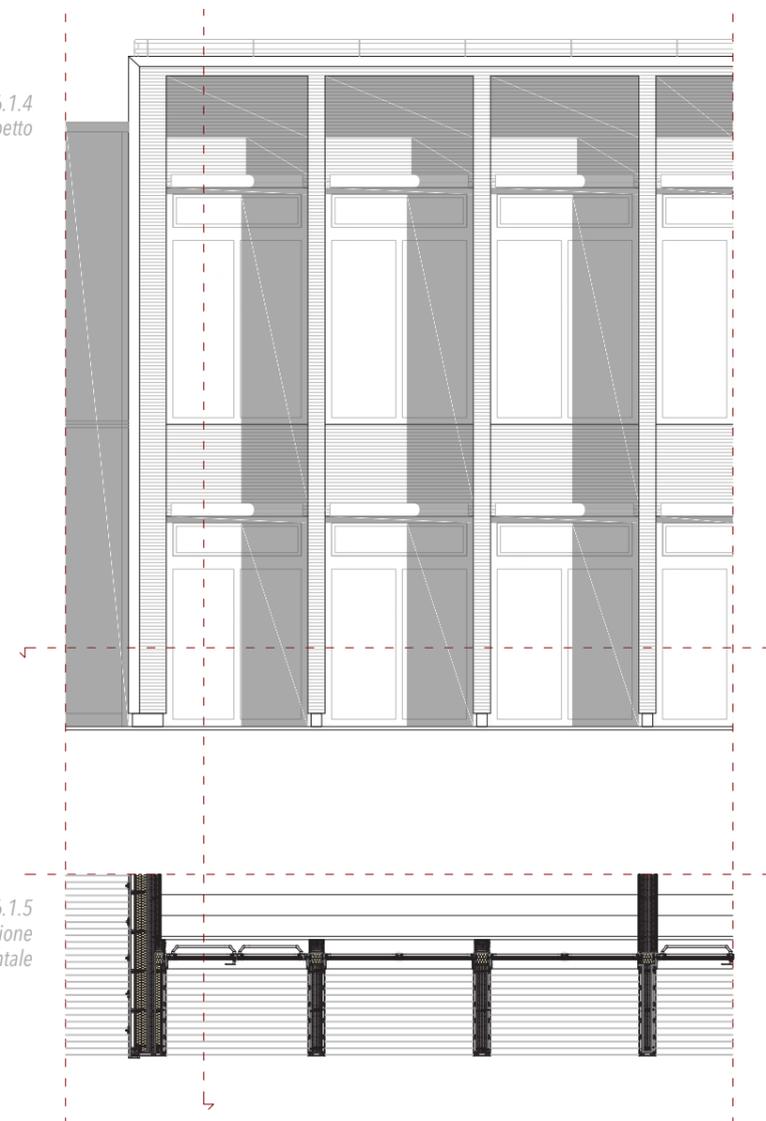


FIG 6.1.5  
Sezione  
orizzontale

#### C.O. 06 SOLAIO PIANO TERRA ISOLATO

1. Pavimentazione in linoleum a due strati con strato fonoisolante in sughero; sp. 4 mm
2. Massetto fluido autolivellante con primer; sp. 5 mm
3. Lastra in gessofibra; sp. 18 mm
4. Sistema pavimento radiante a secco; sp. 30 mm
5. Granulare a base di perlite per sottofondi a secco; sp. 80 mm
6. Barriera al vapore in alluminio; sp. 0,3 mm
7. Pannelli termoisolanti in fibra di legno pressata; sp. 2x100 mm,  $\lambda$  0,038 W/mK
8. Telo in polietilene; sp. 1,6 mm
9. Lastre predalles con getto di calcestruzzo in opera; sp. 260 mm
10. Intonaco; sp. 2 mm

#### C.O. 02 SOLAIO CONTROTERRA NON ISOLATO

1. Strato di usura a "spolvero" a base di cemento e inerti indurenti; sp. ca. 1 mm
2. Strato portante in cls di riempimento C25/30  $\varnothing$  2400 kg/m<sup>3</sup> con rete metallica elettrosaldata di maglia 15x15 cm e  $\varnothing$ =8mm; sp. 150 mm
3. Telo in polietilene; sp. 0,4 mm
4. Magrone; sp. 120 mm
5. terreno

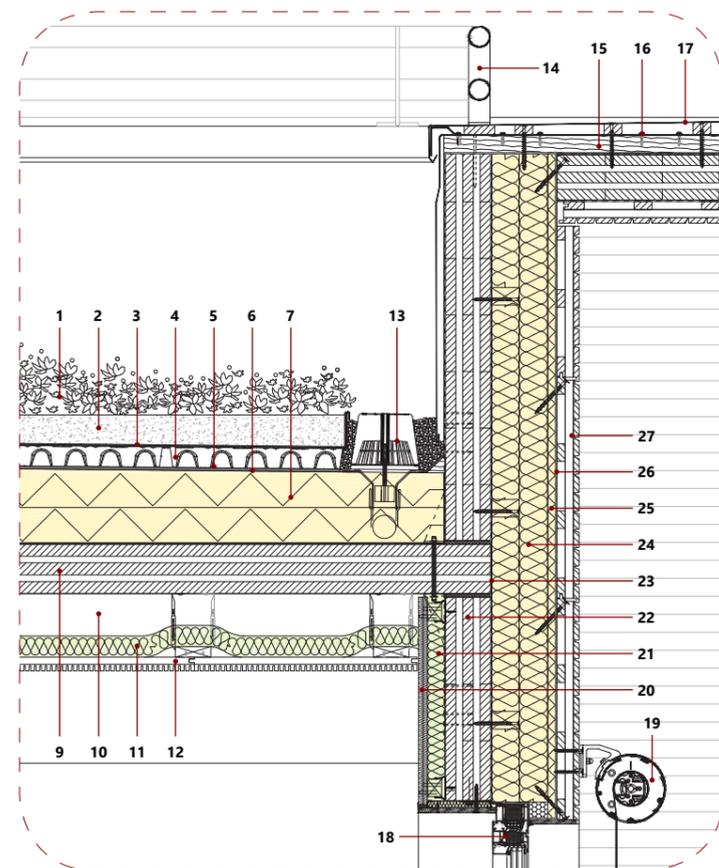
#### C.V. 05 PARETE CONTROTERRA NON ISOLATA

1. Strato portante in cls di riempimento C25/30  $\varnothing$  2400 kg/m<sup>3</sup> con rete metallica elettrosaldata di maglia 15x15 cm e  $\varnothing$ =8mm; sp. 200 mm
2. Membrana bituminosa; sp. 4 mm
3. Membrana alveolare drenante e filtrante in HDPE e geotessile; sp. 8 mm
4. Ghiaia; diametro 50/60 mm
5. Terreno

## 6.1.4 Dettagli tecnici

## 6.1.4.1 Nodo 01

1. Strato di finitura: Vegetazione in sedum, erbacee e graminacee, semina e apposizione di microzolle di sedum su strato colturale sottostante
2. Strato colturale: Substrato per inverdimenti estensivi con composizione granulometrica speciale e alta capacità di accumulo idrico; sp. 80 mm
3. Strato di separazione: Telo in tessuto non tessuto, per filtraggio dell'acqua discendente nello strato drenante; sp. 1,2 mm
4. Strato di drenaggio: Elemento in ESP con elevata capacità di accumulo idrico e sistema di canali per il drenaggio sulla faccia inferiore (tipo Climagrün Climadrain 55), accostato sopra lo strato protettivo e di accumulo idrico; sp. 55 mm
5. Strato di protezione: Stuovia di protezione dello strato impermeabilizzante e accumulo idrico in poliestere (tipo Climagrün PEDT 300) posata con una sovrapposizione di min. 10 cm; sp. ca. 2 mm
6. Strato di tenuta all'acqua: Membrana impermeabilizzante in bitume polimero elastoplastomerica armata, resistente alle radici (tipo Index Helasta poliestere antiradice), realizzato in monostrato con stabilizzazione meccanica dei teli sotto sormonto e sigillatura a fiamma; sp. 4 mm
7. Strato di pendenza e isolamento termico: Pannelli in polistirene espanso estruso pendenzato 1% (tipo knauf polyfoam C-500 JL); sp. 2x100 mm,  $\lambda$  0,035 W/mK
8. Strato di tenuta all'aria e freno al vapore: Barriera al vapore in foglio laminato a 5 strati, (tipo Miofol 125 AV); sp. 0,3 mm
9. Elemento portante: Pannello X-Lam (tipo KLH 140 mm DL); sp. 140 mm (5 strati sp. 34-19-34-19-34 mm)
10. Elementi di sospensione: Sistema di tiranti in combinazione con doghe di legno a sezione rettangolare 100x30 mm (tipo Nonius); sp. 180 mm
11. Strato di isolamento acustico: Pannelli flessibili in fibre di legno pressate monostrato (tipo Celenit FL/45), posato all'interno dell'intercapedine; sp. 60 mm
12. Strato di finitura e correzione acustica: Elementi in legno lamellare con finitura in larice intagliato (tipo Ligno Akustik light), montati sulle doghe di legno del sistema di sospensione mediante avvitatura; sp. 33 mm
13. Elemento di scarico: Puntale con bicchiere anti-intasamento (tipo Pluvia, Geberit)
14. Elemento di protezione: Parapetto in elementi tubolari metallici, fissati sull'elemento portante
15. Elemento di raccordo: Regolo in legno per innesto della scossalina
16. Elementi di fissaggio: Vite in acciaio inox A2 con tassello premontato
17. Elemento di protezione e di tenuta all'acqua: scossalina a incastro in lamiera zincata, spessore 8/10
18. Infisso: Infisso a taglio termico con doppio vetrocamera basso-emissivo (tipo Schuco)
19. Elemento oscurante: Tenda a rullo con cassonetto (tipo Bandalux O-Box)
20. Strato di finitura: Doppia lastra in gesso rivestito per interni a elevata resistenza meccanica (tipo Knauf Diamant); sp. 2x12,5 mm
21. Strato di isolamento acustico: Pannelli flessibili in fibre di legno pressate monostrato (tipo Celenit FL/45); sp. 50 mm
22. Elemento portante: Pannelli Xlam a 5 strati incrociati (30-19-30-19-30 mm); sp. 128 mm
23. Strato di tenuta all'aria e freno al vapore: Barriera al vapore in foglio laminato a 5 strati, (tipo Miofol 125 AV); sp. 0,3 mm
24. Strato di isolamento termico: Pannelli flessibili in fibre di legno pressate monostrato (tipo Celenit

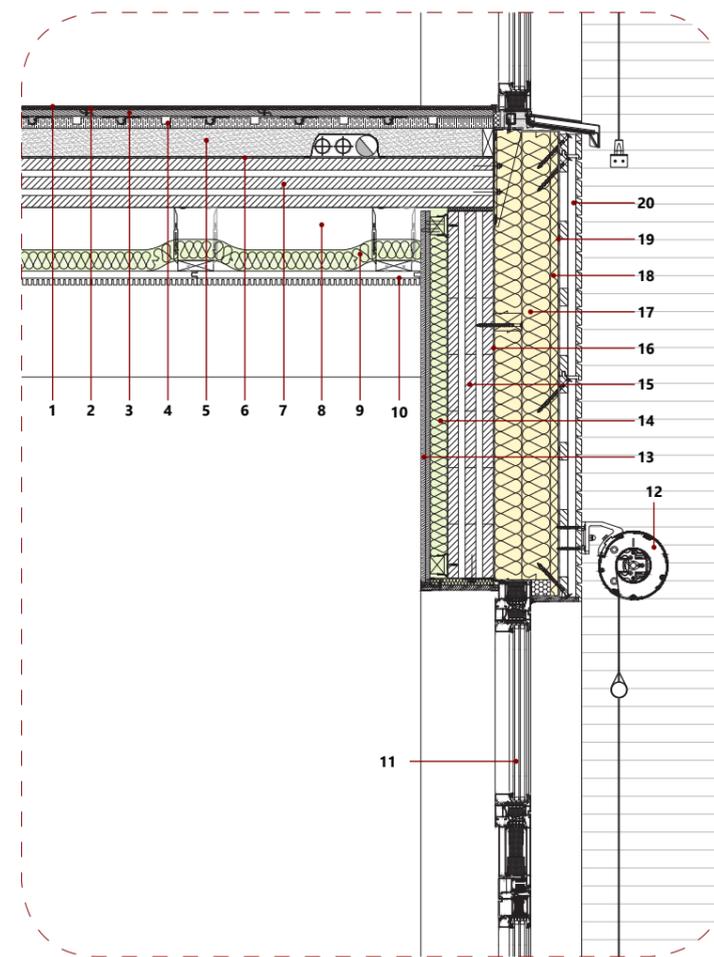


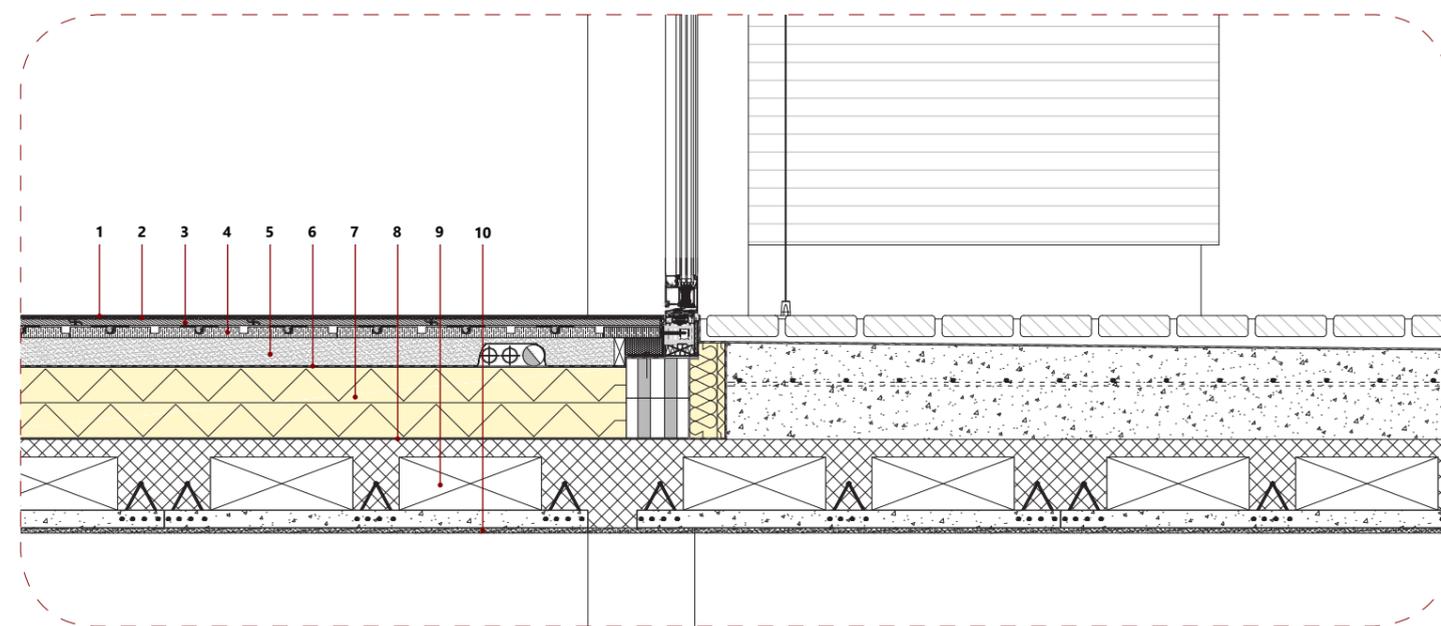
FL/45), applicato per incastro all'intelaiatura in legno; sp. 2x80 mm

25. Strato di isolamento termico: Pannelli in fibra di legno rinforzati (250 kg/m<sup>3</sup>) impregnato di lattice, per renderli impermeabili all'acqua, (tipo Isolair-L, Pavatex) dotati di spigoli ad incastro maschio-femmina, posati in opera mediante incollaggio sul sistema di listelli orizzontali; sp. 20 mm,  $\lambda$  0,047 W/mK
26. Strato di tenuta all'acqua e all'aria: Membrana traspirante in poliacrilato su tessuto non tessuto di poliestere per protezione dalla condensa (tipo Stamisol FA); sp. 4 mm
27. Strato di finitura: Elementi in legno lamellare con finitura in larice intagliato montati sui montanti mediante avvitatura (tipo Lignotrend facade); sp. 33 mm

## 6.1.4.2 Nodo 02

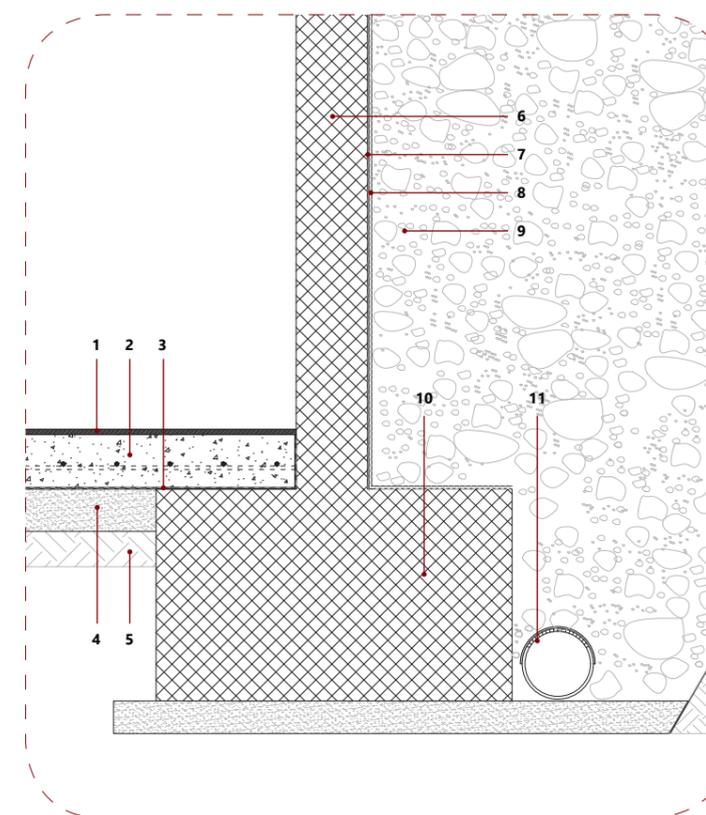
1. Strato di finitura e fonoisolante: Teli di linoleum a due strati con supporto in sughero applicati mediante incollaggio (tipo "Marmoleum acoustic"); sp. 4 mm
2. Strato di livellamento: Massetto fluido autolivellante con primer (tipo Knauf Microlivellina NS415); sp. 5 mm
3. Strato di rinforzo: Lastre in gesso fibra ad alta resistenza per sottofondi a secco (tipo Knauf Brio18) posate a giunti sfalsati di almeno 20 cm, incollati e avvitati; sp. 2x18 mm
4. Strato per riscaldamento a pavimento: Sistema formato da pannelli termoisolanti in polistirene bugnato (tipo RDZ Dry-Tech) per l'alloggiamento delle lamelle termoconduttrici portatubo e tubi; sp. Tot. 30 mm
5. Strato di regolazione: Massetto per sottofondi a secco in granulare a base di perlite (tipo Knauf Trockenschüttung) posato e livellato in opera tramite l'uso di stagge; sp. 80 mm
6. Strato di separazione: Fogli in carta kraft (tipo Ampack Sisalcraft); sp. 0,25 mm
7. Elemento portante: Pannello X-Lam (tipo KLH 140 mm DL); sp. 140 mm (5 strati sp. 34-19-34-19-34 mm)
8. Elementi di sospensione: Sistema di tiranti in combinazione con doghe di legno a sezione rettangolare 100x30 mm (tipo Nonius); sp. 180 mm
9. Strato di isolamento acustico: Pannelli flessibili in fibre di legno pressate monostrato (tipo Celenit FL/45), posato all'interno dell'intercapedine; sp. 60 mm
10. Strato di finitura e correzione acustica: Elementi in legno lamellare con finitura in larice intagliato (tipo Ligno Akustik light), montati sulle doghe di legno del sistema di sospensione mediante avvitatura; sp. 33 mm
11. Infisso: Infisso a taglio termico con doppio vetrocamera basso-emissivo (tipo Schuco), fisso e con anta a ribalta.
12. Elemento oscurante: Tenda a rullo con cassonetto (tipo Bandalux O-Box)
13. Strato di finitura: Doppia lastra in gesso rivestito per interni a elevata resistenza meccanica (tipo Knauf Diamant); sp. 2x12,5 mm
14. Strato di isolamento acustico: Pannelli flessibili in fibre di legno pressate monostrato (tipo Celenit FL/45); sp. 50 mm
15. Elemento portante: Pannelli Xlam a 5 strati incrociati (30-19-30-19-30 mm); sp. 128 mm
16. Strato di tenuta all'aria e freno al vapore: Barriera al vapore in foglio laminato a 5 strati, (tipo Miofol 125 AV); sp. 0,3 mm
17. Strato di isolamento termico: Pannelli flessibili in fibre di legno pressate monostrato (tipo Celenit FL/45), applicato per incastro all'intelaiatura in legno; sp. 2x80 mm
18. Strato di isolamento termico: Pannelli in fibra di legno rinforzati (250 kg/m<sup>3</sup>) impregnato di lattice, per renderli impermeabili all'acqua, (tipo Isolair-L, Pavatex) dotati di spigoli ad incastro maschio-femmina, posati in opera mediante incollaggio sul sistema di listelli orizzontali; sp. 20 mm,  $\lambda$  0,047 W/mK
19. Strato di tenuta all'acqua e all'aria: Membrana traspirante in poliacrilato su tessuto non tessuto di poliestere per protezione dalla condensa (tipo Stamisol FA); sp. 4 mm
20. Strato di finitura: Elementi in legno lamellare con finitura in larice intagliato montati sui montanti mediante avvitatura (tipo Lignotrend facade); sp. 33 mm





### 6.1.4.3 Nodo 03

1. Strato di finitura e fonoisolante: Teli di linoleum a due strati con supporto in sughero applicati mediante incollaggio (tipo "Marmoleum acustic"); sp. 4 mm
2. Strato di livellamento: Massetto fluido autolivellante con primer (tipo Knauf Microlivellina NS415); sp. 5 mm
3. Strato di rinforzo: Lastre in gesso fibra ad alta resistenza per sottofondi a secco (tipo Knauf Brio18) posate a giunti sfalsati di almeno 20 cm, incollati e avvitati; sp. 18 mm
4. Strato per riscaldamento a pavimento: Sistema formato da pannelli termoisolanti in polistirene bugnato (tipo RDZ Dry-Tech) per l'alloggiamento delle lamelle termoconduttrici portatubo e tubi; sp. Tot. 30 mm
5. Strato di regolazione: Massetto per sottofondi a secco in granulare a base di perlite (tipo Knauf Trockenschüttung) posato e livellato in opera tramite l'uso di stagge; sp. 80 mm
6. Strato di tenuta all'aria e freno al vapore: Barriera al vapore in foglio laminato a 5 strati (tipo Miofol 125 AV) con giunti sigillati da nastro adesivo in alluminio; sp. 0,3 mm
7. Strato di isolamento termico: Pannelli in fibra di legno pressata (tipo Celenit FLV150) posato in opera su giunti sfalsati; sp. 2x100 mm,  $\lambda$  0,038 W/mK
8. Strato di tenuta all'acqua: Telo in polietilene per protezione dell'isolante e della struttura in legno della risalita capillare e dall'umidità; sp. 1,6 mm
9. Strato portante: Lastre prefabbricate predalles con Getto in calcestruzzo di riempimento C25/30  $\varnothing$  2400 kg/m<sup>3</sup> con rete metallica elettrosaldata di maglia 15x15 cm e  $\varnothing$ =8mm; sp. 260
10. Strato di finitura: Intonaco; sp. 2 mm



### 6.1.4.4 Nodo 04

1. Strato di usura: Rivestimento con basso spessore con metodo a "spolvero" di prodotto premiscelato a base di cemento e inerti indurenti, in ragione di circa 4 kg/m<sup>2</sup>, applicata sulla superficie del getto di cls ancora fresco con successiva frattazzatura e levigatura; sp. ca. 1 mm
2. Strato portante: cls di riempimento C25/30  $\varnothing$  2400 kg/m<sup>3</sup> con rete metallica elettrosaldata di maglia 15x15 cm e  $\varnothing$ =8mm e con trattamento Laserscreed tipo "Conpaviper"; sp. 150 mm
3. Strato di tenuta all'acqua: Telo in polietilene per protezione dell'isolante e della struttura in legno della risalita capillare e dall'umidità; sp. 0,4 mm
4. Strato di livellamento: Magrone, calcestruzzo con ridotte quantità di cemento (meno di 150 kg/m<sup>3</sup>) realizzato in opera in seguito agli scavi; sp. 120 mm
5. Terreno
6. Strato portante e finitura: Getto in calcestruzzo di riempimento C25/30  $\varnothing$  2400 kg/m<sup>3</sup> con rete metallica elettrosaldata di maglia 15x15 cm e  $\varnothing$ =8mm; sp. 200 mm
7. Strato di tenuta all'acqua: Membrana impermeabilizzante in bitume polimero elastoplastomerica armata, resistente alle radici (tipo Index Helasta poliestere antiradice), realizzato in monostrato con stabilizzazione meccanica dei teli sotto sormonto e sigillatura a fiamma; sp. 4 mm
8. Strato di protezione drenante e filtrante a due strati: Membrana alveolare in HDPE e geotessile in PP (tipo Doerken Delta NP-Drain); sp. 8 mm
9. Strato drenante: Ghiaia; diametro 50/60 mm
10. Elemento strutturale: Trave di fondazione
11. Elemento drenante: Tubo drenante per l'allontanamento dell'acqua dalla fondazione

## 6.2 SOLUZIONE IMPIANTISTICHE



FIG 6.2.1 riscaldamento radiante



FIG 6.2.2 Ventilazione meccanizzata



FIG 6.2.3 Pompa di calore geotermica



FIG 6.2.4 Impiantofotovoltaico

Per raggiungere una situazione di comfort è necessario dotare l'edificio di un sistema impiantistico adeguato. Di seguito verranno illustrate le soluzioni scelte per le specifiche necessità del progetto. Per la realizzazione di un edificio efficiente sono stati progettati accuratamente tutti i sistemi in maniera da ottimizzare i consumi.

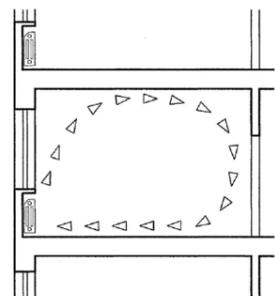
### 6.2.1 Riscaldamento e raffrescamento

Durante il periodo invernale per raggiungere un elevato livello di comfort interno si è deciso di adottare un sistema di pannelli radianti. I principali vantaggi che gli impianti a pannelli possono offrire riguardano:

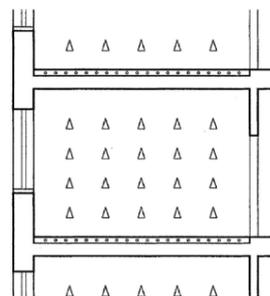
- Il benessere termico,
- La qualità dell'aria,
- Le condizioni igieniche,
- L'impatto ambientale,
- Il calore utilizzabile a bassa temperatura,
- Il risparmio energetico.

#### BENESSERE TERMICO

Il riscaldamento a pavimento diffonde il calore per irraggiamento di onde nel campo nell'infrarosso, senza servirsi di aria calda



Moti convettivi in un impianto a radiatori



Irraggiamento in un impianto a pannelli

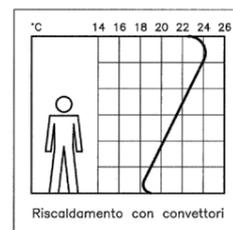
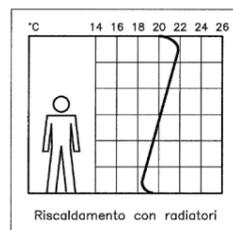
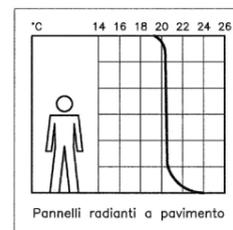
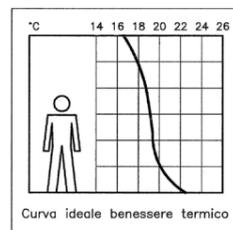
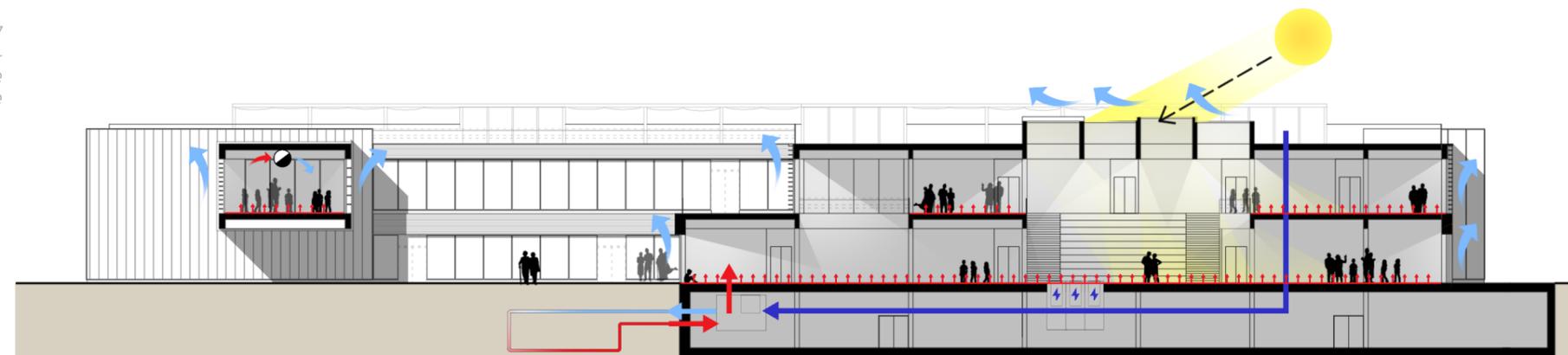


FIG 6.4.5 Confronto impianto a radiatori e a pannelli radianti

FIG 6.4.6 Curve ideali per il benessere termico invernale

FIG 6.4.7 Schematic design stagione invernale



(o fredda), impedendo la generazione di moti convettivi, particolarmente fastidiosi in ambienti ampi come quelli presenti nell'edificio. Come evidenziato dalla curva ideale, per poter assicurare in un locale condizioni di benessere termico si devono mantenere zone leggermente più calde a pavimento e più fredde a soffitto. Gli impianti che meglio si prestano a offrire tali condizioni sono quelli a pavimento radiante.

#### QUALITÀ DELL'ARIA

Il riscaldamento a pannelli è in grado di evitare due inconvenienti tipici degli impianti a corpi scaldanti:

- La combustione del pulviscolo atmosferico, che può causare senso di arsa e irritazione alla gola;
- L'elevata circolazione di polvere, che (specie nei locali

poco puliti) può esser causa di allergie e difficoltà respiratorie.

#### CONDIZIONI IGIENICHE

Gli impianti a pannelli esercitano un'azione positiva nel mantenimento di buone condizioni igieniche ambientali, in quanto evitano:

- Il formarsi di zone umide a pavimento, sottraendo pertanto il loro ambiente ideale ad acari e batteri;
- L'insorgere di muffe (e della relativa fauna batterica) sulle pareti che confinano coi pavimenti caldi.

#### IMPATTO AMBIENTALE

Nelle costruzioni nuove e negli interventi di recupero con

rifacimento dei pavimenti, gli impianti a pannelli sono gli impianti a minor impatto ambientale perché non pongono vincoli di natura estetica, non limitano la libertà d'arredo, consentendo così il più razionale utilizzo dello spazio disponibile, non contribuiscono al degrado di intonaci, pavimenti e serramenti, in quanto:

- Non sporcano le pareti di nerofumo,
- Non consentono il formarsi di umidità a pavimento,
- Limitano sensibilmente i casi di condensa interna in quanto aumentano la temperatura delle pareti vicine.

#### ACQUA UTILIZZABILE A BASSA TEMPERATURA

L'acqua di circolazione all'interno di questi elementi è a bassa temperatura, compresa tra i 30° e i 40° gradi, consentendo un notevole risparmio energetico sulla produzione dell'acqua calda per il riscaldamento. Gli impianti a pannelli radianti sono caratterizzati dall'aver un'elevata inerzia termica in quanto, per cedere calore, utilizzano le strutture in cui sono annegati i pannelli stessi. In ambienti riscaldati con una certa continuità (e con buon isolamento sotto i pannelli) l'inerzia termica di questi impianti non pone alcun problema consentendo un buon adeguamento dell'impianto alle condizioni climatiche esterne.

Estivo

Nel periodo estivo nelle tubazioni dei pannelli può scorrere acqua fredda per il raffrescamento. Si deve tuttavia considerare che essi presentano in merito due limiti ben precisi: la limitata resa frigorifera, l'incapacità di deumidificare. La bassa resa

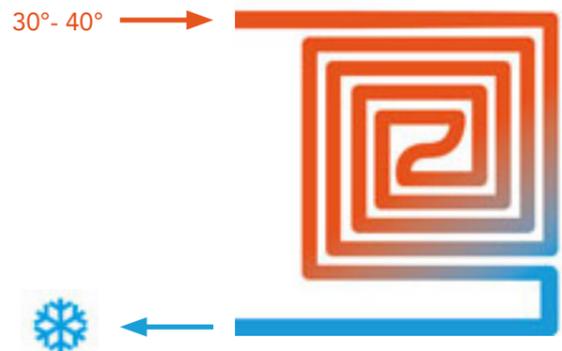


FIG 6.4.9  
Schema pannello radiante, ingresso e uscita acqua calda

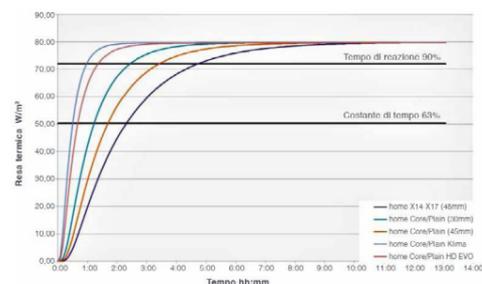
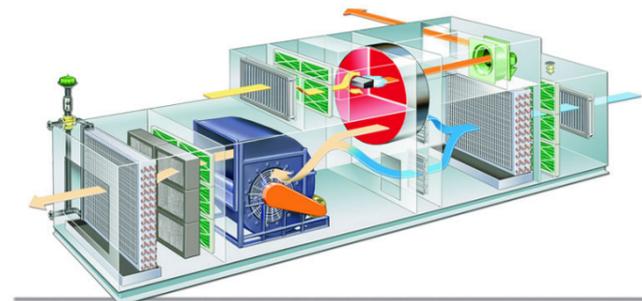


FIG 6.4.10  
Tempi di entrata in regime dei pannelli radianti

frigorifera dipende dal fatto che negli impianti a pannelli non è possibile abbassare troppo la temperatura del pavimento senza provocare fenomeni di condensa superficiale. L'incapacità di deumidificare dipende invece dalla natura stessa degli impianti a pannelli i cui terminali (cioè i pavimenti) non possono far condensare ed evacuare parte dell'acqua contenuta nell'aria. In

FIG 6.4.11  
UTA: Unità di Trattamento dell'Aria, flussi



combinazione ai pannelli radianti è quindi necessario affiancare un impianto di ventilazione e condizionamento.

#### 6.2.2 Ventilazione meccanizzata

Gli impianti misti sono oggi molto utilizzati perché garantiscono elevati livelli di comfort con un risparmio dal punto di vista energetico. Con questi impianti si distribuisce aria per il ricambio fisiologico agli ambienti e si completa il loro bilancio termico.

I sistemi di Ventilazione Meccanica Controllata sono tecnologie che permettono la ventilazione continuativa "controllando" la portata d'aria di rinnovo secondo le esigenze di ogni singola zona. Questo sistema soddisfa le seguenti esigenze:

- Garantisce una portata d'aria di immissione e estrazione, prestabilita
- Ha la possibilità di variare la portata dell'aria in funzione delle condizioni dell'ambiente
- Fornisce un sistema di filtraggio dell'aria

- Garantisce la possibilità di recupero del calore sull'aria espulsa

Il principio di ventilazione dell'edificio è composto da due parti. La prima parte consiste nell'immissione di aria nuova nei cosiddetti locali "nobili", ossia a bassa produzione di inquinanti. La seconda parte consiste nella simultanea estrazione dell'aria viziata dai locali "sporchi", ossia a più alta concentrazione di inquinanti.

L'aria nuova entra negli ambienti attraverso gli ingressi d'aria, transita nelle zone interne ed è richiamata, per effetto di una depressione, verso le bocchette di estrazione che convogliano l'aria nei canali/condotti di estrazione.

Nel nostro caso si è optato per l'utilizzo di macchine per il trattamento dell'aria, note con l'acronimo di UTA. Esse consentono di gestire il ricambio dell'aria di un ambiente interno con l'esterno.

Il ricambio dell'aria in un edificio altamente performante può avvenire in modo manuale aprendo le finestre (sistema che purtroppo comporta elevati consumi energetici e numerose altre problematiche correlate), o utilizzando dei sistemi altamente efficienti in grado di ricambiare l'aria interna in modo continuo e costante, in base a parametri prestabiliti. Dal grafico seguente è possibile osservare i parametri principali che influenzano il bilancio energetico di un edificio. Pertanto, come si può osservare, rimane fondamentale intervenire per poter ridurre drasticamente l'energia richiesta per il rinnovo dell'aria. È proprio in questo ambito che ci vengono in aiuto gli



FIG 6.4.12  
UTA, fotografia

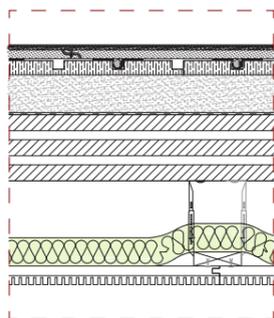


FIG 6.2.8  
Dettaglio stratigrafia con riscaldamento radiante

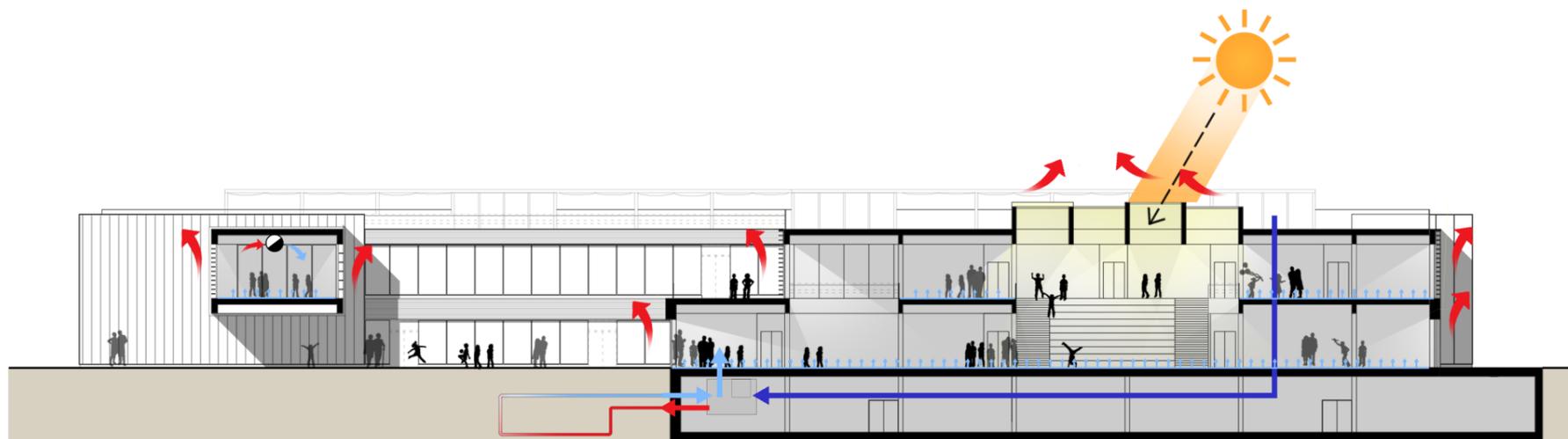


FIG 6.4.13  
Schematic de-  
sign stagione  
estive

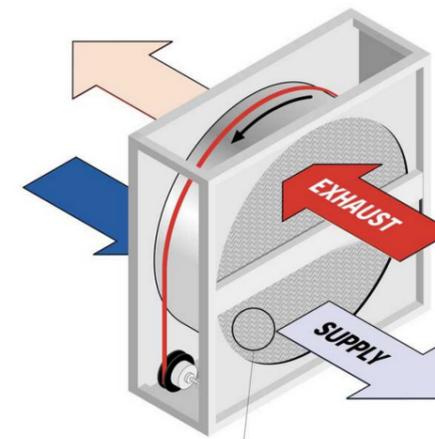
impianti di Ventilazione Meccanica Controllata ed in particolare l'UTA. Con un impianto a ventilazione controllata, l'aria viene introdotta dall'esterno, ma passa attraverso un elemento chiamato recuperatore. All'interno di questo, l'aria scambia energia termica con l'aria estratta dall'interno, grazie a sottili pannelli metallici (solitamente in alluminio). Così facendo essa viene condotta a una temperatura più prossima a quella interna e sarà necessario un minor consumo di energia per riscaldarla o raffrescarla. Il post riscaldamento o raffrescamento è garantito da batterie collocate subito dopo il recuperatore.

Oltre alla temperatura interna l'UTA è in grado di controllare l'umidità relativa dell'aria. L'umidità dell'aria in un ambiente confinato condiziona non soltanto il benessere ma anche

la salute dei suoi occupanti. Valori troppo bassi di umidità relativa hanno effetti negativi sulle mucose del tratto superiore dell'apparato respiratorio, che può perdere parzialmente la sua funzione di protezione dalle infezioni; altri effetti sono la secchezza di capelli e della pelle, un maggior trasporto di polveri da parte dell'aria, l'accumulo di cariche elettrostatiche. Viceversa, umidità relativa elevata può causare fenomeni di condensazione su superfici fredde, con umidificazione dei materiali che le costituiscono e successiva formazione di muffe.

Il valore di umidità relativa in grado di garantire condizioni di benessere è compreso tra il 30% e il 70%, sia per il periodo invernale che per quello estivo.

FIG 6.4.14  
Recuperatore  
di calore  
entalpico  
rotativo



### 6.2.3 Recuperatore di calore

Per consentire il trasferimento di energia tra l'aria di espulsione e l'aria di mandata si è deciso di utilizzare un recuperatore entalpico rotativo. Essi sono equipaggiati con un sistema di recupero rotante composto da un rotore cilindrico caratterizzato da migliaia di micro canali che garantiscono una superficie di scambio molto elevata, in cui lo scambio avviene per accumulo di calore nel rotore stesso. Il ciclo di scambio avviene tramite la rotazione del cilindro nel quale l'aria di espulsione attraversa una metà dell'involucro e cede calore alla matrice del rotore che lo accumula. L'aria di rinnovo, che attraversa l'altra metà, assorbe il calore accumulato. Proseguendo la rotazione, le parti che assorbono e cedono calore si invertono continuamente, ed il processo può continuare in maniera infinita.

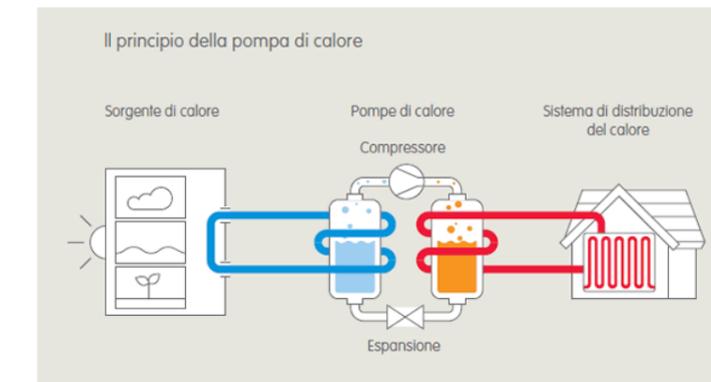


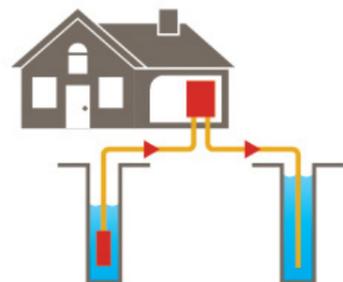
FIG 6.4.15  
Funziona-  
mento della  
pompa di  
calore

Questo tipo di recuperatore ha, in più, il vantaggio di poter recuperare, oltre al calore sensibile, parte dell'umidità presente nell'aria, consentendo di ridurre i dispositivi di deumidificazione. Purtroppo, però, a differenza degli scambiatori di tipo statico a flussi incrociati, hanno un ingombro maggiore; pertanto lo spessore della macchina aumenta, e il motore che fa ruotare il rotore richiede ulteriore potenza elettrica seppur minima. Gli scambiatori di tipo rotativo ben progettati hanno un'efficienza dell'85% sul recupero dell'energia, mentre l'umidità trasferita può essere addirittura pari al 90%.

### 6.2.4 Pompa di calore geotermica

Per merito della loro elevata superficie disperdente, gli impianti a pannelli possono riscaldare con basse temperature del

FIG 6.4.16  
Pozzi di  
captazione  
per pompa  
di calore con  
acqua di falda



fluidi termovettore, questa caratteristica rende conveniente il loro uso con sorgenti di calore, la cui resa termodinamica e economica, aumenta al diminuire della temperatura richiesta.

La pompa di calore è un dispositivo che permette di spostare calore da un sistema ad una certa temperatura ad un sistema a temperatura superiore.

Analogamente ad una pompa idraulica che solleva acqua da un livello inferiore ad uno superiore, la pompa termica porta il calore da un livello termico più basso ad un livello termico più alto e quindi utilizzabile ai fini della climatizzazione.

L'innalzamento del livello termico avviene tramite uno scambio termico tra due fluidi distinti ed esterni alla pompa di calore, uno per l'ambiente esterno e l'altro per l'ambiente da climatizzare.

Tra questi due ambienti si interpone il circuito frigorifero, cuore della pompa di calore, all'interno del quale il fluido refrigerante subisce le trasformazioni che ne rendono possibile il funzionamento.

L'area di progetto insiste su una zona con facile accesso all'acqua

di falda, circa 30 metri di profondità. Le acque sotterranee sono una fonte di calore molto appropriata per le pompe di calore in quanto riescono a mantenere temperature costanti durante l'arco dell'anno: 10÷15°C in condizioni normali.

I sistemi con pompa di calore acqua-acqua a circuito aperto, sfruttando in modo diretto l'acqua di falda richiedono la presenza di pozzi per la captazione dell'acqua e per la sua successiva restituzione in falda. Le pompe di calore geotermiche utilizzano l'acqua di falda come fonte di calore, consentendo un risparmio del 75% di energia.

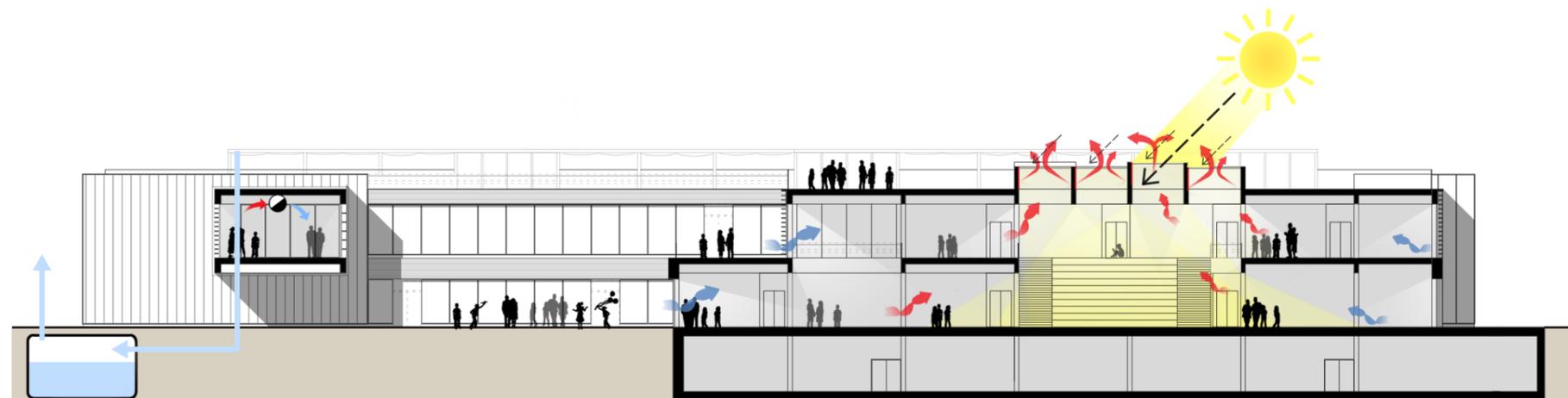
### 6.2.5 Fotovoltaico

Le attuali esigenze di incrementare significativamente la quota di energia rinnovabile nel soddisfacimento dei fabbisogni energetici sta spingendo ad un sempre più marcato uso del fotovoltaico (FV) nell'involucro edilizio, aprendo verso le tematiche dell'integrazione architettonica e costruttiva. L'integrazione funzionale si riferisce al ruolo che i moduli fotovoltaici svolgono all'interno del sistema edificio.



FIG 6.4.17  
Film sottile di  
silicio amorfo  
integrato  
all'interno del  
rivestimento  
metallico

FIG 6.4.18  
Schematic de-  
sign stagioni  
intermedie



L'integrazione estetica (architettonica, figurativa), d'altro canto, si riferisce al concept architettonico e all'immagine dell'edificio. Nel nostro caso l'impianto fotovoltaico ha una valenza tecnologica, ma anche una valenza didattica atta a manifestare l'impegno all'utilizzo di fonti di energia rinnovabile. L'elemento fotovoltaico è esposto sulla copertura indicandone questi valori.

Per una maggiore integrazione all'interno del rivestimento metallico della copertura della palestra, si è scelto un pannello fotovoltaico di tipo amorfo. Il calcolo è stato eseguito attraverso il *Modulo Solare Fotovoltaico del software Termolog*. All'interno del programma sono stati inseriti i dati relativi al pannello fotovoltaico, il numero di pannelli da installare e l'area

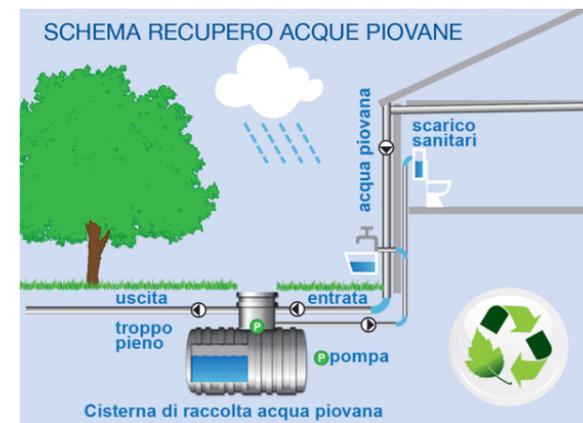
totale captante pari a 803 m<sup>2</sup>. Pertanto è stato possibile inserire 500 pannelli di 1,46 m<sup>2</sup> di superficie ciascuno con una potenza di picco pari a 185 kWp.

La producibilità dell'impianto risulta essere di 186861 kWh. Nel complesso risulta una quota di energia rinnovabile pari al 64% del fabbisogno annuo di energia primaria dell'edificio.

### 6.2.6 Raccolta acque piovane

Infine si prevede un sistema di riutilizzo delle acque piovane, convogliando quelle provenienti dall'intera superficie di copertura verso due vasche di accumulo interrato. L'acqua raccolta verrà utilizzata per il risciacquo dei wc e per l'irrigazione delle aree verdi.

FIG 6.4.19  
Schema di  
recupero delle  
acque piovane



Considerando la superficie della copertura è possibile raccogliere 1869 m<sup>3</sup>/anno, sufficienti a coprire il fabbisogno dell'edificio.

## 6.3 ANALISI ILLUMINOTECNICA

### 6.3.1 LA LUCE NATURALE

La luce naturale caratterizza da sempre l'architettura sia in termini estetici che in termini funzionali, infatti, sin all'inizio del '900, nonostante il diffondersi dell'illuminazione elettrica, ha costituito la sorgente luminosa primaria utilizzata per l'illuminazione diurna degli edifici a carattere sia privato che pubblico.

Solamente dalla seconda metà del secolo ha progressivamente perso questa funzione a causa della disponibilità su larga scala di energia elettrica a basso costo e della consapevolezza che l'illuminazione artificiale permettesse una progettazione più libera, svincolata dalla posizione e dalla dimensione delle superfici fenestrate.

Questa nuova consapevolezza ha portato a definire costruzioni più dipendenti dalle fonti energetiche artificiali e dotate di aperture ridotte, secondo una filosofia basata sulla sostituzione della luce diurna, continuamente variabile in intensità e direzione e quindi difficile da controllare, con una sorgente luminosa in grado di garantire livelli di illuminazione costanti nelle aree occupate. Soprattutto nei paesi freddi questo permetteva di ridurre le superfici trasparenti ed avere quindi minori dispersioni termiche invernali.

Con la crisi energetica degli anni '70 sono state riconsiderate tutte le potenzialità della luce naturale; recuperandone progressivamente l'impiego, in termini di importanza come sorgente luminosa, di elemento dell'architettura e di desiderabilità da parte degli utenti.

Parallelamente, il progresso tecnologico compiuto nel campo dei componenti vetrati e dei sistemi di schermatura, in grado di svolgere anche compiti strutturali e di controllo della radiazione solare incidente, ha determinato una diffusione crescente in relazione a destinazioni d'uso molto diversificate.

L'importanza conferita agli elementi di involucro trasparenti determina infatti come conseguenza un'elevata disponibilità di luce naturale negli ambienti interni: tale disponibilità, tuttavia, non deve essere incontrollata. Un eccessivo e non consapevole ingresso di luce naturale all'interno degli edifici può comportare svantaggi notevoli quali il surriscaldamento delle parti di ambiente vicine alle finestre, nel periodo estivo; fenomeni di abbagliamento a causa della visione diretta del sole o di due riflessioni su superfici lucide; luce naturale in grande quantità, ma con una distribuzione non uniforme dell'illuminamento all'interno dell'ambiente. Per questo motivo, sempre più frequentemente vengono progettati sistemi di schermatura preposti al controllo della radiazione solare entrante in

ambiente.

Attraverso una corretta valutazione e previsione delle condizioni di illuminamento naturale all'interno degli ambienti, in fase di progetto risultano influenzati la distribuzione degli spazi, il benessere visivo e termico degli occupanti, la struttura e il comportamento energetico dell'edificio, l'utilizzazione della luce artificiale e i relativi sistemi di controllo.

La progettazione di un sistema che assicuri il mantenimento delle condizioni di benessere visivo mediante l'utilizzo dell'illuminamento naturale presenta, a differenza di quella fatta nel caso di illuminazione artificiale, delle problematiche molto più complesse.

La disponibilità di luce naturale, a differenza di quella artificiale, non può essere controllata e fissata dal progettista ma deve essere progettata in modo da garantire: una sufficiente quantità di luce naturale entrante; una distribuzione uniforme della luce; la vista verso l'esterno; la penetrazione della radiazione luminosa all'interno dell'ambiente, soprattutto nel periodo invernale; la privacy; l'oscurabilità, solo in questo modo è possibile garantire un comfort visivo ed una riduzione dei consumi da energia elettrica.

### 6.3.1.1 IMPORTANZA DELLA LUCE NATURALE

La vista è il senso più importante per l'uomo e la qualità dell'ambiente luminoso è fondamentale per il suo benessere psicofisiologico.

Il comfort visivo incide enormemente anche su prestazioni

lavorative, salute, sicurezza, umore e atmosfera.

Ricerche comparate tra le condizioni di benessere psicofisico, legate alle naturali alternanze e ai picchi del ciclo circadiano, così come dei livelli di attenzione e concentrazione degli occupanti, hanno mostrato maggiori livelli di comfort visivo nel caso in cui l'ambiente sia illuminato con luce naturale, quali:

- Elevati livelli di illuminamento
- Modellazione tridimensionale e acuita percezione dello spazio
- Migliore resa cromatica
- Acutizzazione degli stimoli visivi e percettivi
- Maggior livello di attenzione e sollecitazione del ritmo circadiano
- Riduzione degli sfarfallamenti causati dagli apparecchi per la luce artificiale.

Nello specifico, molte ricerche sperimentali hanno dimostrato l'importanza dell'illuminazione naturale per favorire la capacità visiva e di apprendimento dei ragazzi e, viceversa il decremento della produttività e dell'attenzione in presenza di luci artificiali di tipo standard. Gli studenti in aule con più luce naturale ottengono delle votazioni tra il 7% e il 18% più alte.

Fin quando è possibile viene consigliato l'uso dell'illuminazione naturale, poiché garantisce un migliore benessere psichico fisico degli studenti e naturalmente anche un notevole risparmio energetico. La luce diurna è insostituibile ed è bene sfruttarla al massimo per ottenere il massimo rendimento. Non esiste nessuna luce artificiale altrettanto omogenea, altrettanto

capace di diffondere benessere. Inoltre la luce diurna scandisce il ritmo del nostro orologio biologico. Sfruttarla significa incrementare il rendimento e la concentrazione, consentire il legame con il mondo esterno.

Per questo motivo, dato il numero di ore che gli studenti e gli insegnanti trascorrono a scuola, è importante che si ponga attenzione, fin dalla fase di progettazione degli ambienti scolastici, agli impianti di illuminazione e alla distribuzione delle fonti luminose negli spazi di lavoro. Per favorire il comfort delle persone che lavorano e studiano in questi ambienti, e per sfruttare il risparmio conseguente ad un impianto elettrico progettato e realizzato razionalmente.

FIG 6.3.1  
Benessere  
dovuto all'uti-  
lizzo di luce  
naturale

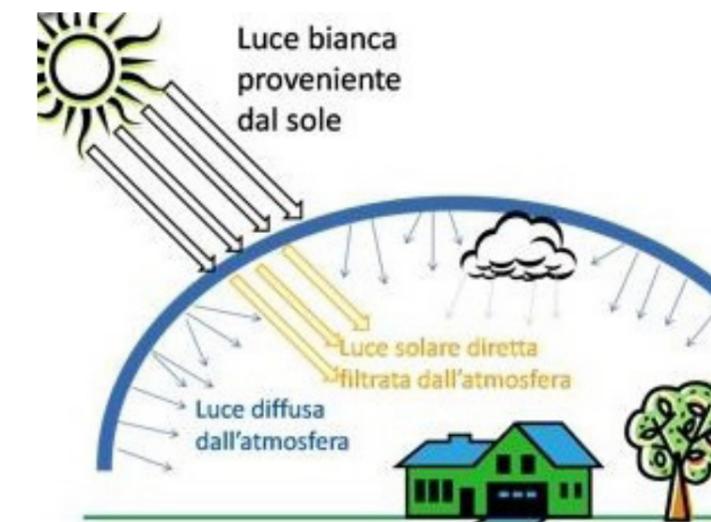
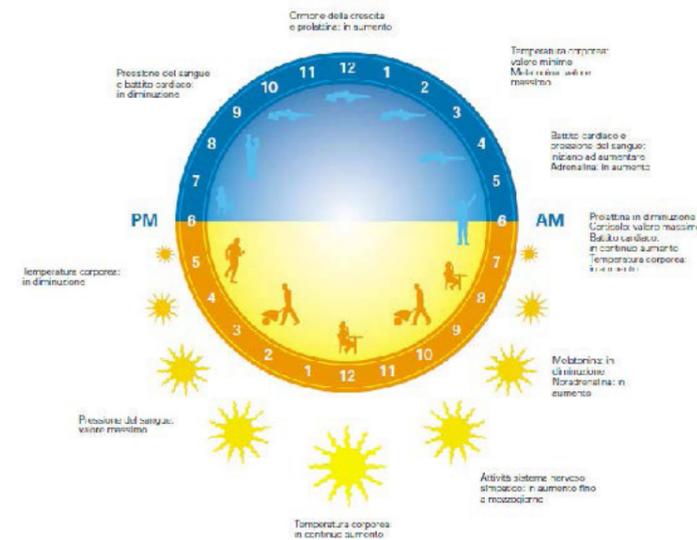
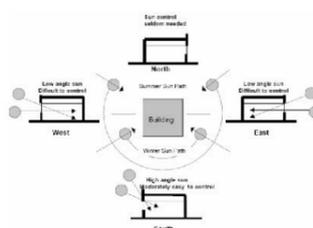


FIG 6.3.2  
Luce solare di-  
retta e diffusa

FIG 6.3.3  
LatitudineFIG 6.3.4  
Diversi orientamentiFIG 6.3.5  
Illuminanza

Un altro aspetto da tenere in considerazione è la quantità di luce riflessa che cambia in funzione delle superfici riflettenti presenti nel contesto. Risulta importante valutare la disponibilità di luce naturale del sito di progetto ancor prima di pensare alla forma o alla distribuzione degli spazi interni. Nel nostro caso, trattandosi di un'area poco edificata, non vi sono particolari problemi di rifrazione o ostruzione della luce.

La disponibilità della luce varia anche in funzione della località di progetto, dipendendo in particolar modo:

- Dalla latitudine: la disponibilità di luce diffusa con condizioni di cielo coperto cambia in funzione della distanza dalla linea dell'equatore;
- Dall'orientamento: il rapporto che l'edificio e i suoi fronti sviluppano con i punti cardinali e dunque il percorso del sole. Questo influenza sia la quantità che la qualità della luce naturale.

## 6.3.2 Grandezze illuminotecniche

L'illuminotecnica è la disciplina tecnico-scientifica che studia la luce, sia naturale che artificiale all'interno degli spazi e ambienti di un edificio.

Per il calcolo della luce naturale si utilizzano principalmente tre parametri:

- Illuminanza: quantità di luce che incide su una superficie e si calcola utilizzando come unità di misura il Lux, pari ad un lumen (unità di misura del flusso luminoso – lm-) su metro quadro:

$$Lx = \text{lm}/\text{mq}$$

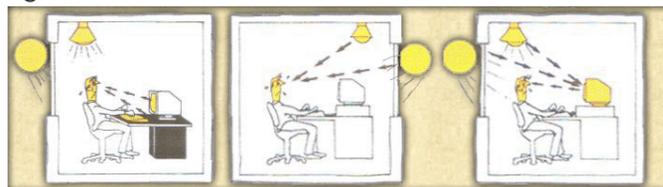
La misurazione sarà effettuata ad un'altezza di 0.75 m, corrispondente all'altezza del piano di lavoro;

- Luminanza: quantità di luce riflessa da una superficie e si calcola utilizzando come unità di misura Candele al metro quadro (Cd/mq). Misura la sensazione di abbagliamento percepita dall'occhio. La distribuzione delle luminanze nello spazio può essere descritta in relazione alla posizione di un osservatore e ad una direzione di osservazione.

FIG 6.3.6  
Luminanza

È importante per garantire il comfort visivo la "mappatura" delle luminanze all'interno dell'ambiente, se le differenze di luminanza all'interno del campo visivo diventano eccessive si verifica il fenomeno dell'abbagliamento, causando fastidio e diminuzione delle capacità visive.

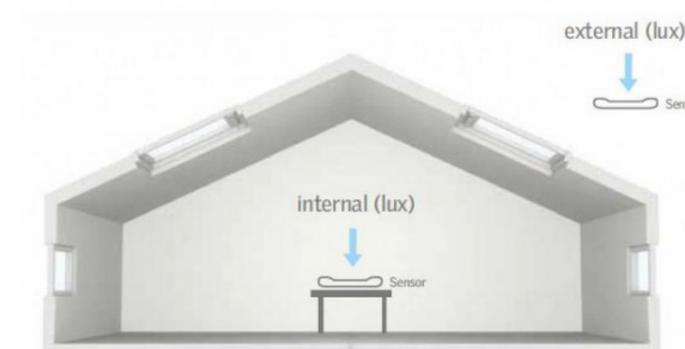
Nella progettazione di un edificio è indispensabile verificare che il contrasto di luminanza resti in un rapporto di 20:1 fra le sorgenti luminose e il loro intorno.

FIG 6.3.7  
Fenomeno dell'abbagliamento

- Fattore medio di luce diurna: esprime il rapporto fra l'illuminamento che si ha in un punto interno di un edificio in un dato momento (E) e l'illuminamento naturale che si ha simultaneamente su un piano esterno (E0), calcolati con cielo coperto; trascurando cioè il contributo dell'irraggiamento diretto.

$$F = E/E_0$$

L'FLDm è la media matematica delle misurazioni all'interno dell'ambiente considerato.

FIG 6.3.8  
FLD

## 6.3.3 Normativa

In Italia l'illuminotecnica non è governata da alcuna legge dello Stato, come avviene invece in altri paesi europei in cui bisogna presentare un calcolo illuminotecnico per l'approvazione delle licenze edilizie. Vi sono tuttavia delle normative regionali.

Nel 1994 veniva recepita la norma UNI 10380 "Illuminazione di interni" che stabiliva alcuni parametri da rispettare per avere ambienti confortevoli dal punto di vista dell'illuminazione sia naturale che artificiale. La norma stabiliva l'intervallo di lux entro cui bisogna stare per garantire un comfort visivo adeguato alla mansione o attività che si svolge in un dato locale. Inoltre indicava anche quale doveva essere il limite del livello di abbagliamento massimo accettabile dagli apparecchi illuminanti e quale doveva essere la temperatura di colore delle lampade utilizzate.

A partire dal 2004 è stata recepita la Norma Europea EN 12464 "Illuminazione dei luoghi di lavoro" che sostituisce la precedente 10380. All'interno della norma vengono analizzati i compiti visivi abituali, evidenziando le esigenze di comfort visivo e dando indicazioni sui livelli di illuminamento, uniformità e grado massimo di abbagliamento necessari alle diverse prestazioni visive, incluse quelle che comportano l'utilizzo di videotermini.

La norma ci fornisce dei valori minimi da rispettare in funzione dell'attività o dell'ambiente specifico, sia per quel che riguarda l'illuminamento, sia per l'FLDm (Tabelle 6.3.1 e 6.3.2).

TAB 6.3.1  
Valori di illuminamento medio raccomandati per alcune attività lavorative secondo la norma UNI EN 12464-1

Tipo di interno, compito o attività	Illuminamento (lux)
Piani di lavoro degli spazi per lezione, studio, lettura, laboratori e negli uffici	500
Lavagne e cartelloni	300
Piani di lavoro negli spazi per il disegno	300
Corridoi, scale e servizi igienici	100

TAB 6.3.2  
Valori minimi del fattore di luce diurna medio prescritti da normativa UNI 10840/2007

Ambienti	FLD
Ambienti ad uso didattico (aule per lezione, studio, lettura, laboratori...)	3%
Spazi per la distribuzione, scale e servizi	1%
Palestra	2%

### 6.3.4 Illuminazione naturale delle aule

Per l'illuminazione delle aule, la scelta della finestratura e della relativa schermatura è stata condizionata dalla quantità di luce naturale ottenibile; per questo motivo sono state effettuate una serie di prove con differenti configurazioni delle superfici finestrate.

Di seguito si riportano le tabelle relative alle prove effettuate su un blocco rappresentativo di tre aule con esposizione Sud-Est, con i relativi valori di illuminamento (lux) e di Fattore di Luce Diurna, calcolati attraverso l'utilizzo del software "VELUX Daylight Visualizer" che considera la riflettanza dei materiali, le proprietà geometriche, la localizzazione geografica e le proprietà del vetro.

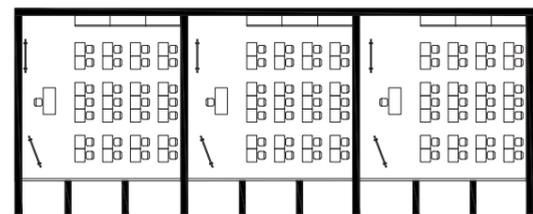
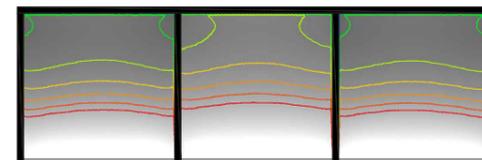
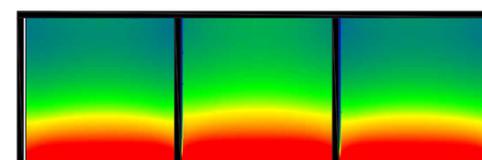
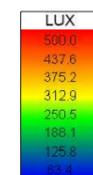


FIG 6.3.9  
Aule esaminate attraverso l'utilizzo del software

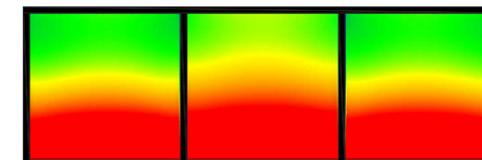
#### CASO 1 - Blocco aule senza elementi schermanti



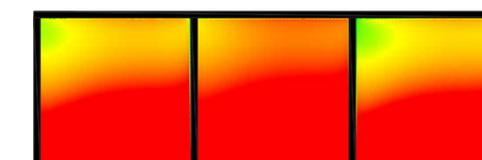
FLD	
Med	7,9 > 3
Min	3,5
Max	12



LUX - 22 Dicembre Cielo coperto	
Med	271,4
Min	112,8
Max	635



LUX - 21 Marzo Cielo coperto	
Med	467,1
Min	205,8
Max	704,2



LUX - 21 Marzo Cielo parzialm. coperto	
Med	682,2
Min	326,9
Max	1077,3

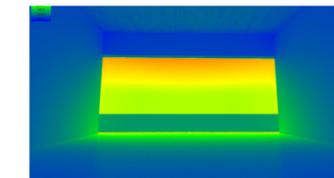


FIG 6.3.10  
Abbagliamento Dicembre

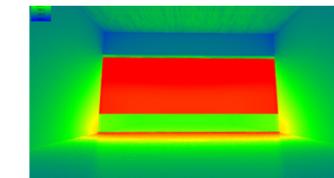


FIG 6.3.11  
Abbagliamento Marzo con cielo coperto

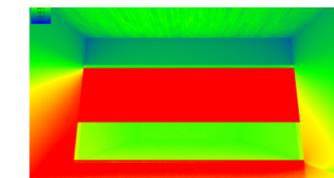


FIG 6.3.12  
Abbagliamento Marzo con cielo parzialmente coperto

CASO 2 - Blocco aule con aggetti verticali e finestre h. 3,2

CASO 3 - Blocco aule con aggetti verticali e finestre h.3,6

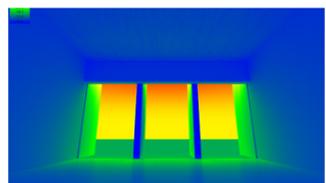
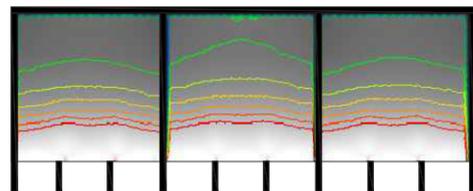
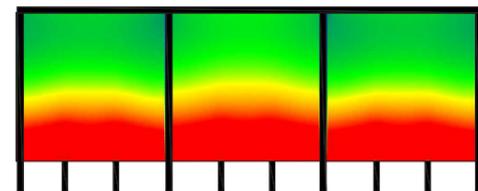


FIG 6.3.13  
Abbagliamento Dicembre



FLD	
Med	5,9 > 3
Min	2,9
Max	11,9



LUX - 21 Marzo Cielo coperto	
Med	346,2
Min	170,7
Max	699,5

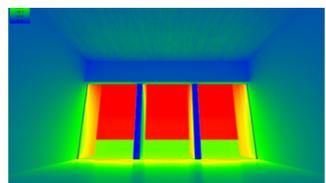
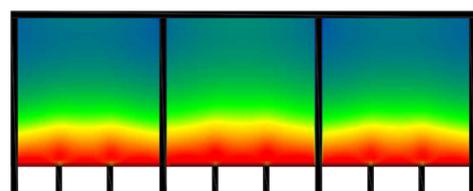
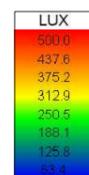
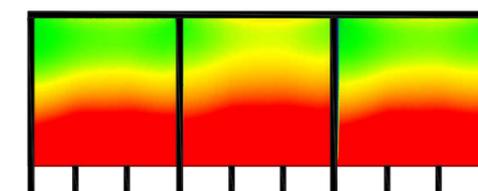
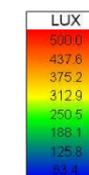


FIG 6.3.14  
Abbagliamento Marzo con cielo coperto



LUX - 22 Dicembre Cielo coperto	
Med	207,9
Min	102,2
Max	424,9



LUX - 21 Marzo Cielo parzialm. coperto	
Med	480
Min	265,7
Max	937,4

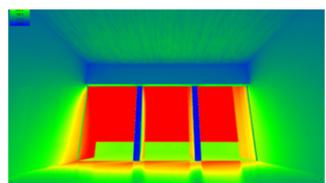
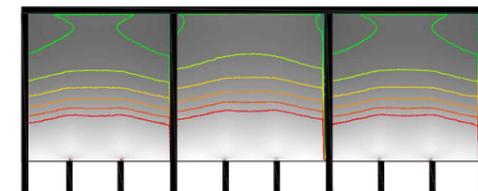
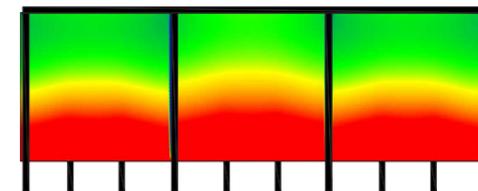


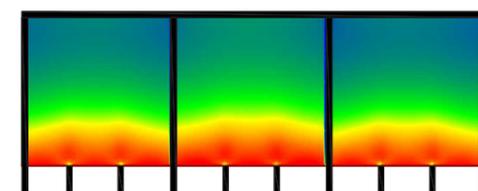
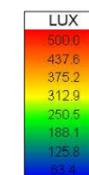
FIG 6.3.15  
Abbagliamento Marzo con cielo parzialmente coperto



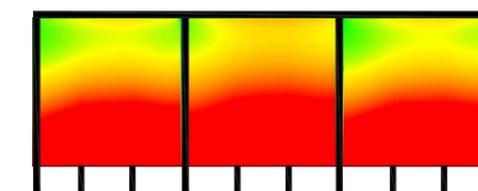
FLD	
Med	6,4 > 3
Min	3,8
Max	12,3



LUX - 21 Marzo Cielo coperto	
Med	373,7
Min	221,5
Max	722,6



LUX - 22 Dicembre Cielo coperto	
Med	210,4
Min	121,7
Max	395,9



LUX - 21 Marzo Cielo parzialm. coperto	
Med	524,6
Min	305,2
Max	939,4

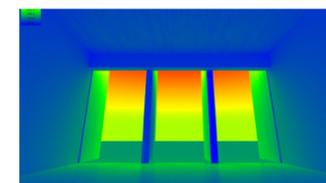


FIG 6.3.16  
Abbagliamento Dicembre

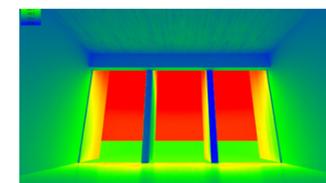


FIG 6.3.17  
Abbagliamento Marzo con cielo coperto

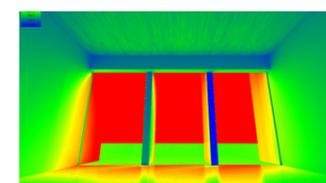


FIG 6.3.18  
Abbagliamento Marzo con cielo parzialmente coperto

## CASO 4 - Blocco aule con aggetti verticali e tunnel solari

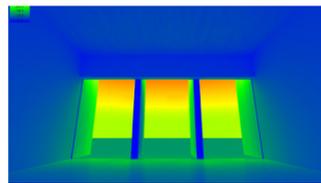
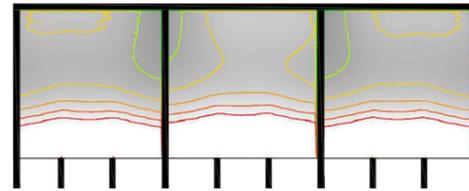


FIG 6.3.19  
Abbagliamento Dicembre



FLD	
Med	6,7 > 3
Min	4,5
Max	11,4

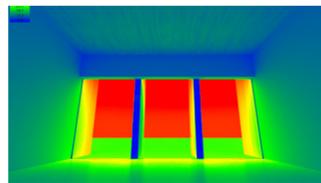
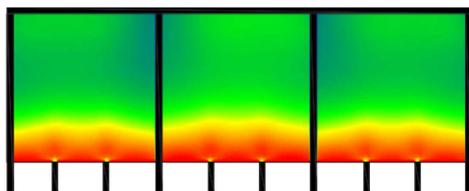


FIG 6.3.20  
Abbagliamento Marzo con  
cielo coperto



LUX - 22 Dicembre Cielo coperto	
Med	219,3
Min	149,9
Max	369,7

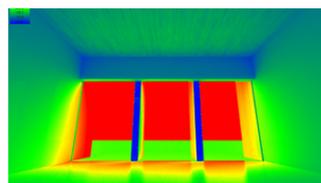
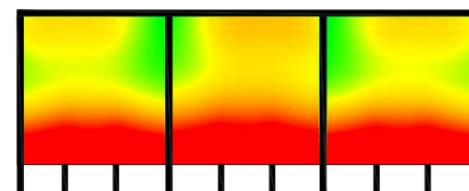
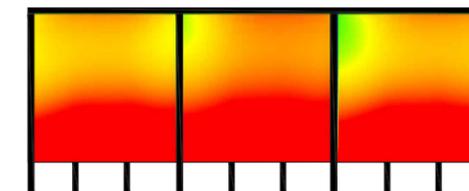


FIG 6.3.21  
Abbagliamento Marzo con  
cielo parzialmente coperto



LUX - 21 Marzo Cielo coperto	
Med	507,3
Min	320,1
Max	885



LUX - 21 Marzo Cielo parzialm. coperto	
Med	400,1
Min	269,1
Max	670,6

In tutti e quattro i casi presi in esame possiamo notare come il valore del Fattore di Luce Diurna Medio (FLDm) sia superiore al 3%, valore minimo prescritto dalla normativa per ambienti ad uso didattico, quali le aule per la lezione.

Attraverso i grafici dell'illuminanza possiamo valutare quale sia la distribuzione dell'illuminazione naturale all'interno delle nostre aule. Notiamo come, indipendentemente dal variare del mese preso in considerazione o dalle condizioni del cielo, risulti sempre migliore la distribuzione luminosa del CASO 4.

Quest'ultima configurazione risulta essere quindi la migliore e sarà inserita all'interno del progetto. Nonostante tutto risulterà necessario anche l'utilizzo di luce artificiale per garantire, nei giorni più bui, il minimo normativo di 500 lx sulle superfici di lavoro. Inoltre, per evitare possibili fenomeni d'abbagliamento e per un controllo ottimale delle condizioni di irraggiamento solare, è stato previsto un sistema di controllo meccanico delle tende poste all'esterno degli elementi trasparenti.



07

SOSTENIBILITA'

## 7.1 SVILUPPO SOSTENIBILE

Sono molte le definizioni di sostenibilità e di sviluppo sostenibile, spesso però quello che risulta sostenibile per un gruppo di persone potrebbe non esserlo per un altro. La definizione ufficiale è stata proposta nel rapporto "Our Common Future" pubblicato nel 1987 dalla Commissione mondiale per l'ambiente e lo sviluppo (Brundland Commission) del Programma delle Nazioni Unite per l'ambiente: " il soddisfacimento dei bisogni della generazione presente senza compromettere la possibilità delle generazioni future di realizzare i propri".

Il concetto di sostenibilità, in questa accezione, viene collegato alla compatibilità tra sviluppo delle attività economiche e salvaguardia dell'ambiente. La possibilità di assicurare la soddisfazione dei bisogni essenziali comporta, dunque, la realizzazione di uno sviluppo economico che abbia come finalità principale il rispetto dell'ambiente, ma che allo stesso tempo veda anche i paesi più ricchi adottare processi produttivi e stili di vita compatibili con la capacità della biosfera di assorbire gli effetti delle attività umane e i paesi in via di sviluppo crescere in termini demografici ed economici a ritmi compatibili con l'ecosistema.

Con le Conferenze delle Nazioni Unite su ambiente e sviluppo, in modo particolare quella tenutasi a Rio de Janeiro nel 1992 e quella di Johannesburg del 2002, si conferma una configurazione del principio dello sviluppo sostenibile fondata

su tre fattori interdipendenti:

- **Tutela dell'ambiente:** capacità di preservare nel tempo le tre funzioni dell'ambiente: di fornitore di risorse, funzione di ricettore di rifiuti e la funzione di fonte diretta di utilità. All'interno di un sistema territoriale per sostenibilità ambientale si intende la capacità di valorizzare l'ambiente in quanto "elemento distintivo" del territorio, garantendo al contempo la tutela e il rinnovamento delle risorse naturali e del patrimonio.
- **Crescita economica:** la capacità di un sistema economico di generare una crescita duratura degli indicatori economici. In particolare, la capacità di generare reddito e lavoro per il sostentamento delle popolazioni. All'interno di un sistema territoriale per sostenibilità economica si intende la capacità di produrre e mantenere all'interno del territorio il massimo del valore aggiunto combinando efficacemente le risorse, al fine di valorizzare la specificità dei prodotti e dei servizi territoriali.
- **Sviluppo sociale:** la capacità di garantire condizioni di benessere umano (sicurezza, salute, istruzione) equamente distribuite per classi e per genere. All'interno di un sistema territoriale per sostenibilità sociale si intende la capacità dei soggetti di intervenire insieme, efficacemente, in base ad una stessa concezione del progetto, incoraggiata da una concertazione fra i vari livelli istituzionali.

*L'obiettivo di questo capitolo è quello di delineare gli aspetti chiave della sostenibilità in ambito edilizio focalizzando l'attenzione sul sistema di certificazione LEED, da noi utilizzato come strumento di supporto per la progettazione della Nuova Scuola. Tenendo anche conto della normativa italiana abbiamo modellato l'edificio, attraverso l'utilizzo del software Termolog, al fine di ottenere una certificazione energetica dello stesso.*

FIG. 7.1.1  
Ambiti all'interno  
dei quali è defi-  
nito il concetto di  
sostenibilità

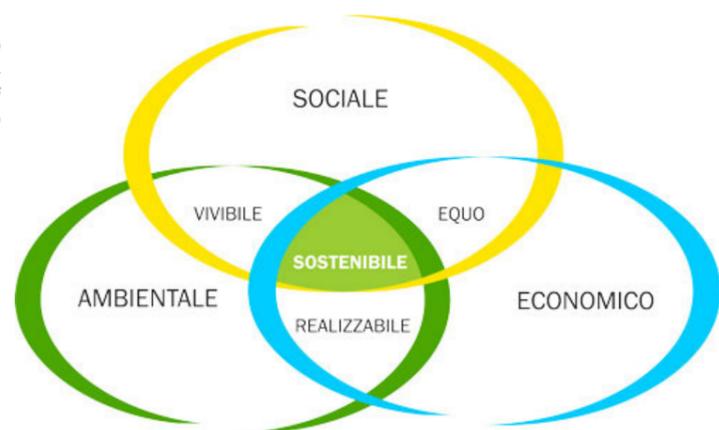


FIG. 7.1.2  
Piramide della  
sostenibilità



### 7.1.1 L'Architettura Sostenibile

Per architettura sostenibile si intende una modalità di approccio al progetto che persegue l'obiettivo di realizzare un'architettura compatibile non solo con la vita dell'uomo e le sue attività ma anche con l'ambiente naturale e con il contesto in cui si inserisce.

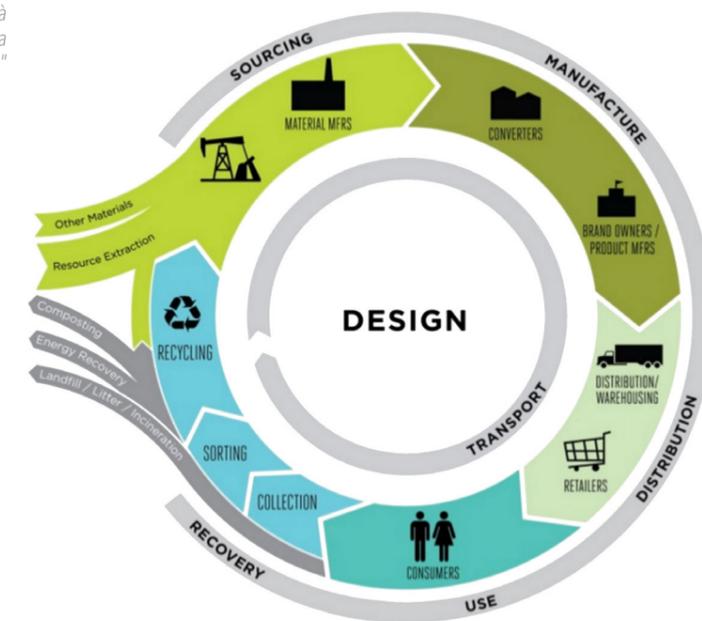
Le conseguenze dell'attività edilizia sull'ambiente in termini di sfruttamento delle risorse naturali ed emissioni di gas a effetto serra è tale da richiedere un adeguamento del modello produttivo agli obiettivi della sostenibilità anche nel settore dell'edilizia. Perseguire questa finalità in architettura comporta l'attuazione di una serie di strategie che tengano conto di aspetti diversi, articolati e interconnessi tra loro:

- le relazioni con il contesto specifico, attraverso risposte progettuali differenti in ragione di condizioni climatiche diversificate;
- l'utilizzo consapevole delle risorse;
- il ricorso a tecnologie costruttive e materiali non inquinanti e non pericolosi per la salute delle persone;
- la previsione degli effetti indotti sul territorio dall'edificio in tutto il suo ciclo di vita anche in termini di provenienza, dismissibilità e riciclaggio dei materiali;
- il raggiungimento di livelli elevati di comfort abitativo.

L'attenzione agli aspetti tecnologici legati alla climatizzazione naturale, alla riduzione dei consumi di energia, al ricorso a energie alternative, alla lotta ai diversi generi di inquinamento

è, di conseguenza, un aspetto dominante in tutte le esperienze di architettura sostenibile che mostrano, tuttavia, un'estrema varietà di indirizzi linguistici e ricerche estetiche: forme e linguaggi diversi mostrano un'estrema attenzione tanto all'innovazione tecnologica quanto all'invenzione formale, portando, spesso nell'opera di uno stesso architetto, sia ad esiti prevalentemente high-tech che ad approcci più organici e biomorfici. A partire dal rapporto tra forma e tecnologia è

FIG. 7.1.3  
Ecostenibilità  
edilizia "dalla culla  
alla tomba"



possibile, allora, definire eco-tech tutte quelle ricerche in cui è predominante l'aspetto tecnologico, con proposte di nuovi materiali, componenti, elementi ed assetti tipologici finalizzati al miglioramento delle prestazioni energetiche attive e passive dell'ambiente costruito e in cui gli elementi edilizi, reinterpretati come apparati energetici per il controllo del microclima, diventano anche stilemi di una nuova architettura che celebra la tecnica in chiave ecologica.

Per valutare la sostenibilità sono nati dei protocolli di certificazione ambientale degli edifici, che definiscono uno schema prestazionale di riferimento e prevedono l'assegnazione di un punteggio in funzione dell'ottenimento di obiettivi di eccellenza rispetto alla prestazione standard.

La valutazione della sostenibilità finale del nostro edificio avverrà attraverso l'utilizzo del protocollo LEED (Leadership in Energy and Environmental Design), il più diffuso a livello mondiale, che ci ha guidato fin dalle prime fasi a compiere le scelte progettuali ottimali.

Inoltre eseguiremo un'analisi energetica dell'edificio valutando le caratteristiche dell'involucro, degli infissi, i consumi, la produzione d'acqua calda sanitaria, il raffrescamento ed il riscaldamento degli ambienti, il tipo di impianto e i sistemi di produzione di energia rinnovabile, per poi produrre un APE (Attestato di Prestazione Energetica), obbligatorio per edifici pubblici con una superficie maggiore di 250 mq.



FIG. 7.1.4  
Hearst Tower, Foster and partners,  
Manhattan.



FIG. 7.1.5  
Logo LEED

## 7.1.2 Realizzare un edificio secondo i principi dell'ecosostenibilità

L'impatto ambientale della progettazione, costruzione ed esercizio degli edifici è enorme: in Europa gli edifici sono responsabili, direttamente o indirettamente, di circa il 40% del consumo di energia primaria complessiva. Inoltre gli edifici impoveriscono la varietà biologica dell'ecosistema globale attraverso la trasformazione di micro-ecosistemi locali in spazi antropizzati impermeabili e privi di biodiversità. L'enorme influenza negativa delle costruzioni richiede specifiche azioni per contrastarne gli effetti ambientali.

Un progetto realizzato con criteri di sostenibilità ambientale può minimizzare o eliminare del tutto gli impatti ambientali negativi attraverso la scelta consapevole che passa attraverso pratiche progettuali, costruttive e di esercizio migliori rispetto a quelle comunemente in uso, ed è così in grado di posizionarsi nella fascia più alta del mercato edilizio. Inoltre, come ulteriore beneficio, un progetto sostenibile consente di ridurre i costi operativi, aumentare il valore dell'immobile nel mercato e la produttività degli utenti finali, riducendo nel contempo le potenziali responsabilità conseguenti ai problemi relativi alla scarsa qualità dell'aria interna agli edifici.

Ricerche su edifici progettati con criteri di sostenibilità ambientale suggeriscono un aumento della produttività degli utenti superiore al 16% contestualmente alla riduzione delle assenze e a una migliore vivibilità. L'introduzione di misure

di efficienza energetica in edifici commerciali può ridurre sensibilmente i costi annui di esercizio e il riutilizzo o il riciclo dei materiali consente di minimizzare l'impatto sulle risorse naturali per la costruzione di nuovi edifici.

In sintesi, l'adozione di pratiche sostenibili nella progettazione edilizia consente di conseguire benefici ambientali, economici e sociali locali e globali con ovvie ricadute su tutti gli utenti dell'edificio, inclusi i proprietari, gli occupanti e tutta la popolazione in genere.



FIG. 7.1.6  
Gli edifici "green"  
possono ridurre...

## 7.2 CERTIFICARE LA SOSTENIBILITÀ

La certificazione di sostenibilità ambientale è lo strumento che consente di dichiarare le prestazioni e gli impatti ambientali di un edificio sul territorio, includendo i consumi di energia che quell'edificio ha, non va confusa pertanto con la certificazione energetica.

### 7.2.1 Differenza tra certificazione ambientale ed energetica

Le certificazioni energetiche, la cui importanza è sostanzialmente imputabile alla cogenza legislativa derivata dal recepimento delle direttive europee in Italia, a seguito del riconoscimento delle problematiche legate al costo (economico e non) dell'energia e delle emissioni in atmosfera, analizzano l'efficienza globale degli edifici dal punto di vista dei fabbisogni energetici di climatizzazione e di produzione di acqua calda a uso sanitario.

Al contrario, le certificazioni ambientali promuovono un nuovo approccio olistico al sistema edilizio, che prevede di considerare l'edificio non più una serie di soluzioni e tecnologie slegate e disarmoniche tra di loro, ma come un unico organismo in cui tutti gli elementi sfruttano le reciproche sinergie al fine di minimizzare gli impatti ambientali dei singoli

sistemi, rispondendo pienamente nel contempo alle esigenze degli utenti.

L'applicazione dei principi dell'architettura sostenibile, o "green building", parte dal fatto che gli edifici non possono non essere costruiti per garantire alle persone uno spazio dove lavorare e abitare, ma che attraverso opportune attenzioni progettuali e costruttive è possibile minimizzare l'impatto ambientale globale sull'ecosistema e rispondere alle esigenze degli utenti nel miglior modo possibili.



FIG. 7.2.1  
Green Building

CERTIFICAZIONE AMBIENTALE	CERTIFICAZIONE ENERGETICA
Volontaria	Obbligatoria
Obbligatoria	Tutti gli edifici nuovi (pubblici e privati)
Piano casa "Bonus volumetrici"	Atti di compravendita
Edifici pubblici nuovi	Contratti di locazione
Edifici ERP nuovi	Accedere ad ogni forma di incentivazione fiscale
Bandi pubblici	

FIG. 7.2.1  
Differenza tra le  
certificazio



FIG. 7.2.3  
Logo GBC Italia

## 7.2.2 Il Protocollo LEED

LEED - Leadership in Energy and Environmental Design - è un sistema di certificazione degli edifici che nasce su base volontaria e che viene applicato in oltre 140 Paesi nel mondo.

Lo standard LEED nasce in America ad opera di U.S.Green Building Council (USGBC), associazione no profit nata nel 1993, che conta ad oggi più di 20.000 membri e che ha come scopo la promozione e lo sviluppo di un approccio globale alla sostenibilità, dando un riconoscimento alle performance virtuose in aree chiave della salute umana ed ambientale.

GBC Italia ha creato una versione locale, indicando i requisiti per costruire edifici ambientalmente sostenibili, sia dal punto di vista energetico che dal punto di vista del consumo di tutte le risorse ambientali coinvolte nel processo di realizzazione.

LEED è un sistema volontario e basato sul consenso, per la progettazione, costruzione e gestione di edifici sostenibili ed aree territoriali ad alte prestazioni e che si sta sviluppando sempre più a livello internazionale; può essere utilizzato su ogni tipologia di edificio e promuove un sistema di progettazione integrata che riguarda l'intero edificio.

LEED è inoltre un sistema flessibile e articolato che prevede formulazioni differenziate per:

- le nuove costruzioni (Building Design & Construction – Schools – Core & Shell);
- edifici esistenti (EBOM - Existing Buildings Operation & Maintenance);

- piccole abitazioni (GBC Italia Home);
- per aree urbane (ND - Neighborhood).

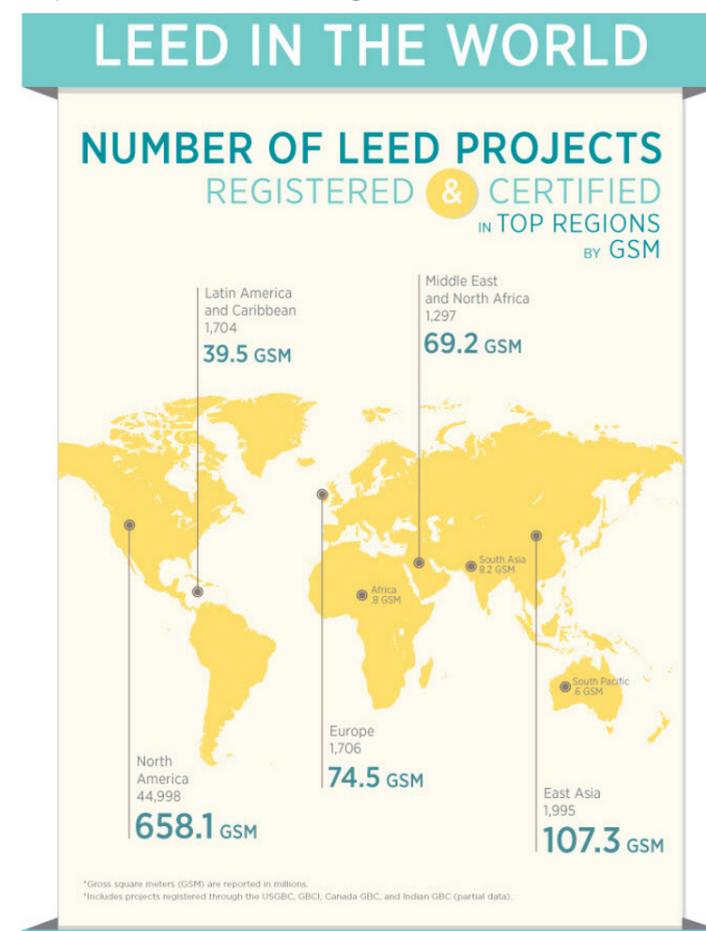


FIG. 7.2.4  
Presenza di progetti LEED nel mondo

Lavorando sull'intero processo, dalla progettazione fino alla costruzione vera e propria, LEED richiede un approccio olistico pena il non raggiungimento degli obiettivi preposti. Solo con un ampio sforzo di progettazione integrata e di coordinamento è possibile creare un edificio armonioso in tutte le aree sopra menzionate.

I vantaggi competitivi per coloro che adottano gli standard LEED, siano essi professionisti o imprese, sono identificabili soprattutto nella grande qualità finale del manufatto, nel notevole risparmio di costi di gestione che questi edifici permettono di ottenere se comparati con edifici tradizionali e nella certificazione da parte di un ente terzo.

La certificazione LEED, infatti, fornisce al mercato un approccio condiviso, su cui basare le scelte ed uno standard misurabile per ogni aspetto trattato. Si tratta di uno standard volontario e che come tale va molto oltre se comparato con la cogenza normativa.

### 7.2.2.1 Struttura sistema di valutazione

LEED è organizzato attorno ad un'articolazione di sistema a crediti, ciascuno dei quali tratta specifici aspetti ambientali, e prerequisiti inderogabili, il cui rispetto è condizione necessaria per accedere alla certificazione. I crediti ed i prerequisiti sono suddivisi in macroaree, in relazione agli aspetti ambientali trattati. A ciascun credito è associato un punteggio fisso, derivato da:

- un complesso sistema di pesatura che considera gli

impatti ambientali e la loro importanza relativa in relazione al conseguimento dei requisiti del credito stesso a partire dalle categorie di impatto (acidificazione, eutrofizzazione, cambiamenti climatici ecc.) individuate dagli strumenti sviluppati dall'ente statunitense EPA (U.S. Environmental Protection Agency);

- dal peso relativo come derivato dagli studi proposti dal NIST (National Institute for Standard and Technologies) in relazione all'edificio tipico certificato negli ultimi anni da USGBC.

La somma di questi punteggi fornisce un valore finale che indica se l'edificio è o meno certificabile LEED e in che modo esso eventualmente è certificabile in base alle categorie di merito, su quattro livelli:

- Certified;
- Silver;
- Gold;
- Platinum.



Base  
(40-49 punti)



Argento  
(50-59 punti)



Oro  
(60-69 punti)



Platino  
(80 o più)



FIG. 7.2.5  
Incidenza percentuale di ogni macroarea sul punteggio finale

FIG. 7.2.6  
Categorie di merito

### 7.2.2.2 Aree Tematiche

I criteri di valutazione della certificazione LEED Italia sono raggruppati in sette categorie. Le categorie all'interno della certificazione *LEED Italia Nuove costruzioni e Ristrutturazioni* sono:

- **Sostenibilità del Sito (SS):** pone attenzione alla scelta del sito di costruzione degli edifici in relazione alla connessione con i servizi primari e secondari, all'utilizzo delle infrastrutture pubbliche di trasporto e alla riduzione delle emissioni inquinanti legate ai trasporti attraverso la promozione dell'uso di biciclette, mezzi a carburante alternativo o ad alta efficienza.
- Questa categoria si rivolge anche alla sistemazione esterna al fine di garantire la preservazione degli ecosistemi locali, la riduzione dell'effetto isola di calore su scala urbana, la permeabilità dei suoli e la possibilità del recupero di acqua piovana; infine vengono trattati anche i problemi specifici della cantierizzazione dell'edificio con richieste specifiche volte alla riduzione dei fenomeni di erosione e sedimentazione del terreno e diffusione delle polveri durante le attività di costruzione.
- **Gestione efficiente delle Acque (GA):** pone l'attenzione alle questioni legate al consumo di acqua potabile e all'impatto dell'edificio sulle reti pubbliche di adduzione e scarico; propone di ridurre i fabbisogni idrici, pur rispondendo alle necessità degli utenti, mediante sistemi che siano in grado di minimizzare il consumo.
- **Energia e Atmosfera (EA):** studia l'analisi dei flussi energetici globali dell'edificio e le emissioni di CO<sub>2</sub> in atmosfera

in termini complessivi, attraverso delle simulazioni energetiche. Pone anche l'attenzione sulle potenzialità energetiche delle fonti rinnovabili e all'introduzione del *commissioning*, che rappresenta un processo qualitativo integrato di verifica della corretta progettazione e realizzazione degli impianti energetici al fine di garantire il regolare funzionamento e la rispondenza con le necessità dell'edificio previste dalla committenza.

- **Materiali e risorse (MR):** si ricerca la corretta scelta dei materiali da costruzione, tenuto conto dell'energia in essi contenuta. Porta a prediligere materiali prodotti localmente, riciclati o riciclabili, derivati da scarti di produzione, rapidamente rinnovabili e legno proveniente da foreste gestite attraverso un protocollo di certificazione sostenibile, al fine di conseguire una importante riduzione dei consumi di materie prime ed energia.
- **Qualità ambientale e Interna (QI):** affronta i problemi relativi agli spazi interni e agli impianti dell'edificio, che devono essere necessariamente in grado di garantire le condizioni ottimali di comfort, la salubrità e il benessere degli utenti dell'edificio.
- **Innovazione del processo Progettuale (IP):** si pongono come valore aggiunto per l'edificio:
  - l'impiego di tecnologie costruttive che portano a risultati superiori a quanto richiesto da altri crediti o di soluzioni innovative che vanno oltre a quanto richiesto da LEED;
  - la presenza di professionisti accreditati con conoscenza specifica sulle problematiche legate alla certificazione ambientale LEED e alla sostenibilità in generale.

- **Priorità Regionale (PR):** problematiche legati agli aspetti ambientali locali, attraverso l'incentivazione del conseguimento di alcuni crediti specifici delle precedenti categorie ritenuti

importanti per il luogo in cui si realizza l'edificio.



FIG. 7.2.7  
Macroaree LEED

## 7.3 UNA SCUOLA LEED GOLD

### 7.3.1 Sostenibilità del Sito (SS)

I crediti che fanno parte della macroarea sono riportati nella *Tabella 7.3.1*.

#### SS Prerequisito 1 - Prevenzione dell'inquinamento da attività di cantiere

##### FINALITÀ

Ridurre l'inquinamento generato dalle attività di costruzione controllando i fenomeni di erosione del suolo e di sedimentazione nelle acque riceventi e la produzione di polveri.

##### REQUISITI

Sviluppare e implementare un *Piano di Controllo dell'Erosione e della Sedimentazione* per tutte le attività costruttive riguardanti la realizzazione del progetto.

Il piano di controllo dell'erosione e della sedimentazione descriverà le misure implementate per raggiungere i seguenti obiettivi:

- Evitare la perdita di terreno durante la costruzione causata dal deflusso superficiale delle acque meteoriche e/o dall'erosione dovuta al vento, includendo la protezione del

terreno superficiale rimosso e accumulato per il riuso.

- Prevenire la sedimentazione nel sistema fognario di raccolta delle acque meteoriche o nei corpi idrici ricettori.
- Evitare di inquinare l'aria con polveri o particolati.

##### APPLICAZIONE DEL CREDITO

Il progetto prevede la riduzione dell'inquinamento generato dalle attività di costruzione controllando i fenomeni di erosione del suolo e di sedimentazione delle acque riceventi e la produzione di polveri. Verrà dunque redatto un *Piano di Controllo dell'Erosione e della Sedimentazione*, in linea con le indicazioni del Green Building Council Italia.

Il cantiere presenterà una serie di misure, che verranno adottate al fine di adempiere agli obblighi del prerequisito:

- recinzione su tutto il perimetro al fine di prevenire la fuoriuscita delle polveri (pannelli ciechi di almeno 2 m) e la fuoriuscita di materiale trasportato da eventuali eventi meteorici;
- accessi stabilizzati e sistemi di lavaggio delle ruote dei mezzi in uscita, integrato dal lavaggio della strada pubblica con apposita macchina da parte dell'impresa;
- protezione delle caditoie, che si trovano sulle strade limitrofe al cantiere, attraverso l'inserimento di un tessuto geotessile per

CREDITO	TITOLO	PUNTEGGIO
SS Prerequisito 1	Prevenzione dell'inquinamento da attività di cantiere	Obbligatorio
SS Credito 1	Selezione del sito	1
SS Credito 2	Densità edilizie e vicinanza dei siti	5
SS Credito 3	Recupero e riqualificazione dei siti contaminati	1
SS Credito 4.1	Trasporti alternativi: accesso ai trasporti pubblici	6
SS Credito 4.2	Trasporti alternativi: portabiciclette e spogliatoi	1
SS Credito 4.3	Trasporti alternativi: veicoli a bassa emissione e a carburante alternativo	3
SS Credito 4.4	Trasporti alternativi: capacità dell'area di parcheggio	2
SS Credito 5.1	Sviluppo del sito: proteggere e ripristinare l'habitat	1
SS Credito 5.2	Sviluppo del sito: massimizzazione degli spazi aperti	1
SS Credito 6.1	Acque meteoriche: controllo della quantità	1
SS Credito 6.2	Acque meteoriche: controllo della qualità	1
SS Credito 7.1	Effetto isola di calore: superfici esterne	1
SS Credito 7.2	Effetto isola di calore: coperture	1
SS Credito 8	Riduzione dell'inquinamento luminoso	1

TAB 7.3.1  
Crediti macroarea  
Sostenibilità del  
Sito

prevenire la sedimentazione di terreno nel sistema municipale delle acque bianche;

- sistemi di abbattimento polveri (sprinkler mobili e bagnatura frequente dei percorsi);

- gestione dei rifiuti prodotti dal cantiere dovuti alle attività di scavo attraverso definizione di apposita zona di stoccaggio protetta da teli per evitare percolamento nel terreno e protezione con copertura dei container per i rifiuti.

Durante tutto il periodo di costruzione dovranno essere eseguiti dei controlli periodici, con redazione di report specifici, al fine di verificare l'effettiva efficienza delle misure adottate per il controllo dell'erosione e della sedimentazione.

**Obbligatorio**



FIG. 7.3.1  
Recinzione  
cantiere



FIG. 7.3.2  
Sistema di lavaggio delle ruote dei mezzi

FIG. 7.3.3  
Calditoia protetta da tessuto geotessile

FIG. 7.3.4  
Sistema di abbattimento polveri



FIG. 7.3.5  
Sistema di gestione dei rifiuti



FIG. 7.3.6  
Zona di stoccaggio protetta da teli



## SS Credito 1: Selezione del Sito

### FINALITÀ

Evitare l'edificazione in aree inappropriate e ridurre l'impatto ambientale della localizzazione di un edificio su di un sito.

### REQUISITI

Non costruire edifici, spazi esterni pavimentati, strade o aree a parcheggio su siti che rispondono ai seguenti criteri:

- Aree agricole ad esclusione di quei terreni che per caratteristiche insediative risultano interclusi all'interno di aree edificate, dove il loro utilizzo agricolo risulta comunque compromesso.
- Siti precedentemente non antropizzati a pericolosità idrogeologica elevata o molto elevata. In particolare per il rischio di esondazione fare riferimento al tempo di ritorno di 100 anni.
- Terreni specificatamente indicati come habitat per le specie minacciate o in pericolo di estinzione contenute nelle liste rosse nazionali o locali, o all'interno delle zone di conservazione speciale ZSC (direttiva habitat 92/43 CEE) e zone di protezione speciale ZPS (direttiva uccelli 79/409 CEE).
- Entro 30 m dalle zone umide di "interesse internazionale" ai sensi della Convenzione di Ramsar, resa esecutiva con il Decreto del Presidente della Repubblica n. 448/1976, o all'interno delle aree di protezione di zone umide istituite dalle Regioni e Province Autonome.

- Siti precedentemente non antropizzati entro 15 m da un corpo idrico superficiale che supporta o può supportare vita acquatica, usi ricreativi o produttivi, in accordo con la terminologia del D.Lgs 152/2006 "norme in materia ambientale".
- Terreno che prima di essere acquisito per il progetto era un parco pubblico, a meno che un terreno di eguale o maggiore valore come parco pubblico venga accettato in cambio dal proprietario pubblico (i progetti delle Autorità Parco sono esentati).

#### APPLICAZIONE DEL CREDITO

L'area di progetto dell'edificio pari a circa 11.950 mq si trova in fronte all'attuale Polo scolastico della scuola primaria e secondaria di Cascina Crotta. All'area si accede dalla Via Crotta, provenendo da una delle arterie principali del territorio comunale che è la Via San Giacomo.

La porzione del lotto in cui sorgerà la nuova scuola è individuato dal Piano delle Regole del PGT vigente come "F – insediamenti specialistici per servizi pubblici comunali e intercomunali" e soddisfa i requisiti LEED, si veda nello specifico la tavola PDR2D e l'art. 39 delle Norme e Tecniche di Attuazione del Piano delle Regole.

Pt. 1/1

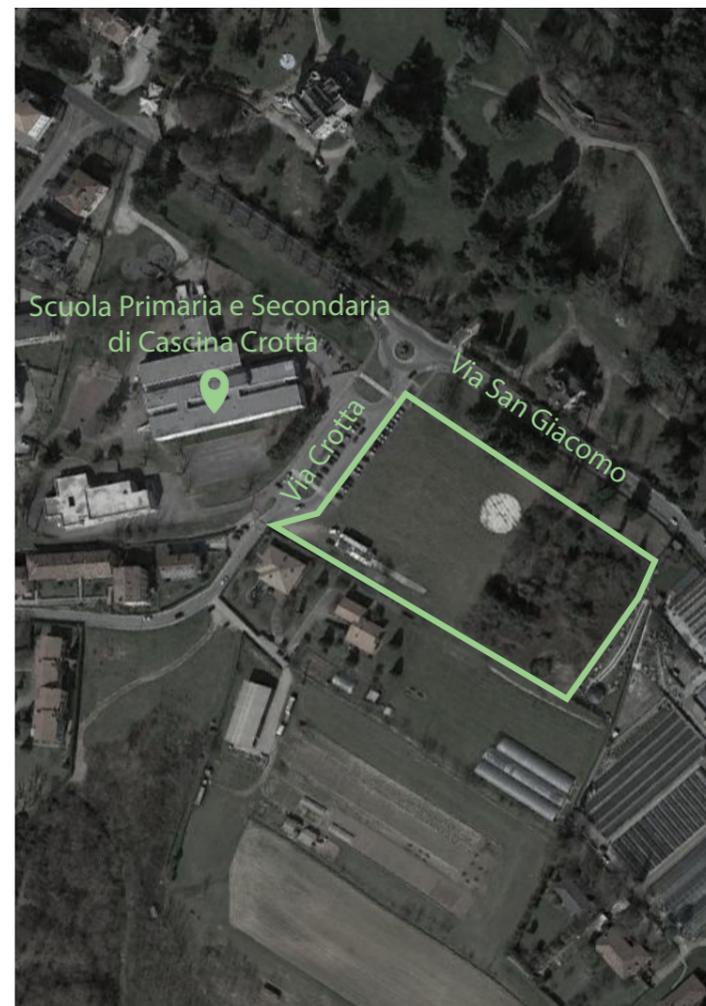


FIG. 7.3.7  
Foto aerea dell'area di progetto.

## SS Credito 2: Densità edilizia e vicinanza ai servizi

#### FINALITÀ

Indirizzare lo sviluppo edilizio verso aree urbane dove sono già presenti servizi e infrastrutture, proteggere le aree verdi, preservare l'habitat e le risorse naturali.

#### REQUISITI

##### OPZIONE 2: Vicinanza ai servizi

Costruire o ristrutturare un edificio in un'area che soddisfa i seguenti criteri:

- È inserita in una zona già precedentemente edificata.
- È situata entro 800 m da un'area residenziale caratteristica da una densità media pari a 10 unità abitative ogni 4000 m<sup>2</sup>.
- Comprende almeno 10 servizi di base entro un raggio di 800 m.
- È dotata di accesso pedonale tra l'edificio e i servizi base.

Per i progetti a destinazione mista tra i 10 servizi richiesti al massimo 1 può essere all'interno del progetto purché sia aperto al pubblico. Almeno 8 servizi devono essere esistenti e operativi prima dell'edificazione del progetto: al massimo 2 servizi possono essere programmati. In questo caso si deve dimostrare che i servizi programmati saranno operativi entro 1 anno dall'occupazione del progetto.

Esempi di servizi base includono, ma non sono limitati ai seguenti: 1) banca, 2) luogo di culto, 3) negozio di generi

alimentari, 4) asilo nido/scuola materna, 5) lavasecco, 6) caserma dei vigili del fuoco, 7) centro estetico, 8) ferramenta, 9) lavanderia, 10) biblioteca, 11) medico/dentista, 12) centro per anziani, 13) parco, 14) farmacia, 15) ufficio postale, 16) ristorante, 17) scuola, 18) supermercato, 19) teatro, 20) centro polifunzionale, 21) centro fitness/palestra, 22) museo.

La vicinanza dei servizi base si determina disegnando su una mappa dell'area un cerchio con centro nell'entrata principale dell'edificio e con raggio di 800 m e si contano i servizi compresi all'interno.

#### APPLICAZIONE DEL CREDITO

L'area:

- Presenta due manufatti di cemento a livello del terreno, residui dall'utilizzo dell'area come sito di fiere all'aperto.
- È caratterizzata da una densità media superiore a 10 unità abitative ogni 4000 mq. (996,2 abitanti/Kmq)
- 10 servizi di base entro un raggio di 800 m:
  1. Banca Popolare di Sondrio, Via Roma 23
  2. Biblioteca, all'interno dell'area di progetto
  3. Istituto Comprensivo Casatenovo, Via San Giacomo 20
  4. LD Market, Via Don L. Milani 37
  5. Farmacia di Casatenovo Snc, Piazza G. Mazzini 1
  6. Ristorante Fabbrica Libera, Via Don L. Milani 28
  7. Ufficio Postale, Via del Lavoro 1
  8. Stadio, Piazza Repubblica
  9. Studio Medico Dentistico Piasano, Piazza della Repubblica

10. Ethrò, Via Don G. Rossi 12

- È dotata di accesso pedonale tra l'edificio e i servizi di base .

**Pt. 5/5**



FIG. 7.3.8  
Raggio di 800 m  
dall'ingresso della  
scuola in progetto.

### SS Credito 3: Recupero e riqualificazione dei siti contaminati

FINALITÀ

Bonificare e riqualificare siti degradati dove lo sviluppo insediativo è ostacolato dall'inquinamento ambientale e diminuire così il consumo di suolo non urbanizzato.

REQUISITI

OPZIONE 1:

Edificare su un sito brownfield, ossia un sito inquinato in accordo con le prescrizioni del D. Lgs 152/06 e ss.mm.ii Norme Ambientali o, per le procedure avviate, ai sensi del D.M. 471/99 "Regolamento recante criteri, procedure e modalità per la messa in sicurezza, la bonifica e il ripristino ambientale dei siti inquinati".

OPZIONE 2:

Edificare su un sito da bonificare secondo le anagrafi predisposte dalle singole Regioni e Province Autonome sulla base dei criteri definiti da ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale)

APPLICAZIONE DEL CREDITO

Il sito sul quale sorge il progetto non risulta contaminato; dunque non necessita di interventi di bonifica.

**Pt. 0/1**

### SS Credito 4.1: Trasporti alternativi: accesso ai trasporti pubblici

FINALITÀ

Ridurre l'inquinamento e l'impatto ambientale generati dal traffico automobilistico.

REQUISITI

OPZIONE 1: Vicinanza a una stazione ferroviaria.

OPZIONE 2: Vicinanza a fermata dell'autobus.

Localizzare il progetto ad una distanza (misurata da un accesso principale), percorribile a piedi, inferiore a 400 m da una o più fermate di due o più linee di autobus pubblici, tram o servizi di bus navetta utilizzabili dagli occupanti dell'edificio.

APPLICAZIONE DEL CREDITO

L'accesso principale dell'edificio si trova a 396 m dalla fermata dell'autobus (linea D80) più vicina situata in Via Roma, 44.

**Pt. 6/6**

FIG. 7.3.9  
Distanza percorribile a piedi dalla fermata del Bus



## SS Credito 4.2: Trasporti alternativi: portabiciclette e spogliatoi

### FINALITÀ

Ridurre l'inquinamento e l'impatto ambientale generati dal traffico automobilistico.

### REQUISITI

CASO 1: Edifici commerciali o istituzionali

Fornire portabiciclette sicuri e/o depositi ad una distanza inferiore a 200 m dall'entrata dell'edificio per almeno il 5% di tutti gli utenti dell'edificio (misurati nei periodi di punta).

Fornire spogliatoi con docce, all'interno dell'edificio o comunque ad una distanza inferiore a 200 m dall'entrata dell'edificio, in misura pari allo 0,5 % degli Occupanti Equivalenti a Tempo Pieno (fulltime-equivalent FTE).

CASO 2: edifici residenziali.

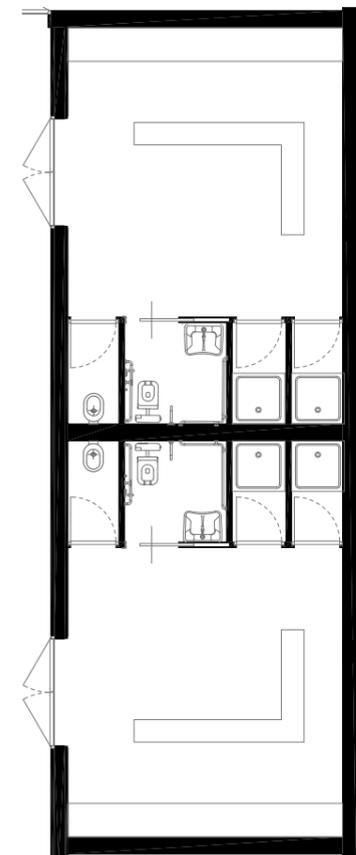
### APPLICAZIONE DEL CREDITO

L'edificio rientra nel CASO 1. La scuola ospiterà circa 600 utenti ai quali si dedicano 60 posti per il parcheggio di biciclette, in modo tale che il 10% degli utenti possa usufruire del servizio.

Gli Occupanti Equivalenti a Tempo Pieno (FTE) sono circa 80, considerati i professori, il personale ATA e coloro i quali lavoreranno in biblioteca ed in cucina; il requisito richiede un numero di spogliatoi con docce pari a  $80 \times 0,005 = 0,4$  che viene ampiamente soddisfatto in quanto sia nel piano interrato

che al piano terra, nelle vicinanze dell'ingresso, sono collocati n°4 spogliatoi che contano un totale di 12 docce.

FIG. 7.3.10  
Pianta degli spogliatoi collocati nel piano interrato



### Pt. 1/1

### FINALITÀ

Ridurre l'inquinamento e l'impatto ambientale generati dal traffico automobilistico.

### REQUISITI

OPZIONE 1:

Prevedere parcheggi preferenziali per veicoli a bassa emissione e a carburante alternativo per il 5% della capacità totale del parcheggio del sito. In alternativa fornire parcheggi a prezzi scontati per veicoli a bassa emissione o a carburante alternativo. Per avere uno stimolo significativo in tutti i mercati potenziali, l'agevolazione economica deve essere almeno del 20%. La tariffa base deve essere disponibile per tutti i veicoli a bassa emissione e a carburante alternativo e non deve limitarsi al 5% della capacità del parcheggio. Questa agevolazione deve valere per almeno 2 anni e deve essere pubblicizzata all'ingresso del parcheggio.

OPZIONE 2: Installare stazioni di rifornimento di carburante alternativo.

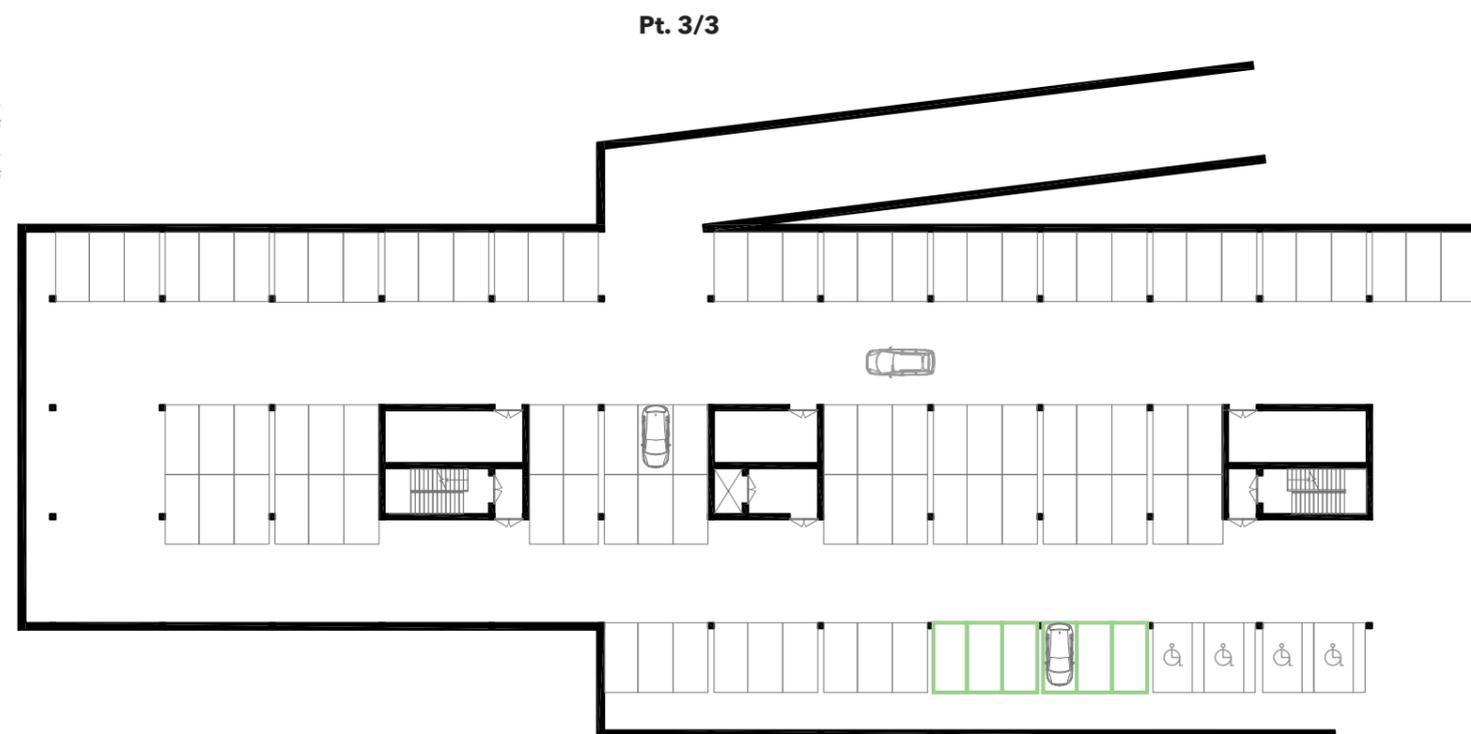
OPZIONE 3: Fornire veicoli a bassa emissione e veicoli a carburante alternativo.

OPZIONE 4: Fornire servizio di car sharing con veicoli a bassa emissione oppure a carburante alternativo.

## APPLICAZIONE DEL CREDITO

Per il credito in questione si è scelto di seguire l'OPZIONE 1. La capacità totale del parcheggio dell'edificio è di 99 posti auto, compresi i 4 posti destinati ai diversamente abili. Quindi sono necessari  $99 \times 0,05 = 4,95 \sim 5$  posti auto per veicoli a bassa emissione e a carburante alternativo. Ne riserveremo 6.

FIG. 7.3.11  
Pianta dell'in-  
terrato con posti  
auto preferen-  
ziali



delle murature, i volumi delle aule normali e speciali (esclusi i laboratori e gli uffici), dell'auditorio, della sala riunioni, della biblioteca, della palestra e dell'alloggio del custode.

Il nostro progetto rispecchia queste richieste quindi il requisito di non superare il minimo stabilito dalle prescrizioni degli strumenti urbanistici:  $(2728,3 \text{ m}^2)/(51512 \text{ m}^3) \leq (1 \text{ mq})/(20 \text{ m}^3)$ .

Il progetto inoltre prevede che il 10% dei parcheggi (10 posti auto) sia destinato a carpool/vanpool; questi spazi sono evidenziati in blu nella pianta dei parcheggi.

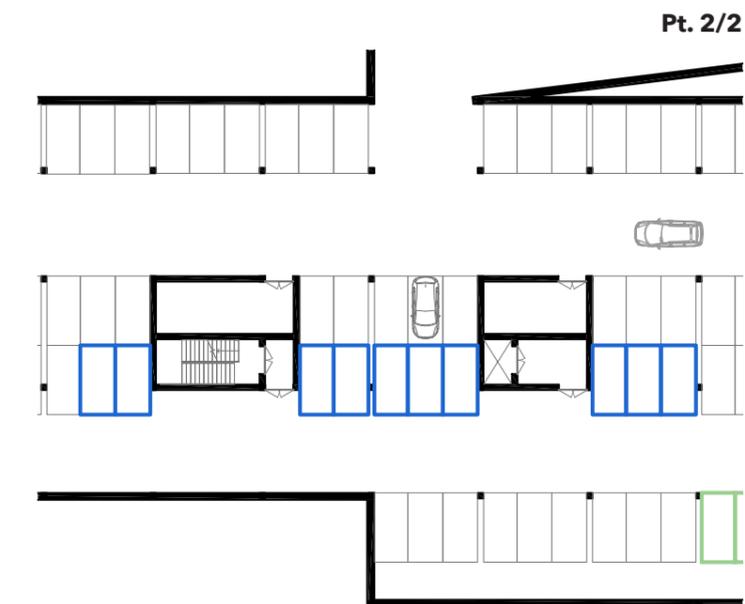


FIG. 7.3.12  
Zona dei  
parcheggi vicina  
agli ingressi  
riservata a carpo-  
ol/vanpool.

## SS Credito 4.4: Trasporti alternativi: capacità dell'area di parcheggio

## FINALITÀ

Ridurre l'inquinamento e l'impatto ambientale generati dal traffico automobilistico.

## REQUISITI

CASO 1: Non residenziale

OPZIONE 1:

Dimensionare la capacità del parcheggio in modo che non superi il minimo stabilito dalle prescrizioni degli strumenti urbanistici locali. E prevedere parcheggi preferenziali per carpool/vanpool per il 10% del totale dei posti macchina previsti.

OPZIONE 2:

Non prevedere nuovi parcheggi negli interventi di ristrutturazione edilizia.

CASO 2: Residenziali

CASO 3: Uso misto (edifici con destinazione d'uso commerciale e residenziale)

## APPLICAZIONE DEL CREDITO

Il progetto rientra nel CASO 1 e si è scelta l'OPZIONE 1.

Il rapporto tra l'area dei parcheggi e il volume dell'edificio di cui all'art. 18 della legge 6 agosto 1967, n. 765 deve essere non inferiore ad  $1 \text{ m}^2$  su ogni  $20 \text{ m}^3$  di costruzione. Il volume complessivo della costruzione si determina sommando, al netto

## SS Credito 5.1: Sviluppo del sito: proteggere e ripristinare l'habitat

### FINALITÀ

Conservare le aree naturali e i paesaggi agrari esistenti, riqualificare le aree danneggiate per fornire habitat a flora e fauna e promuovere la biodiversità.

### REQUISITI

CASO 1: Aree verdi naturali e paesaggi agrari

Nelle aree verdi naturali e nei paesaggi agrari, per limitare la compattazione del terreno dovuta a lavorazioni cantieristiche che richiedono aree di deposito o di sosta dei mezzi, contenere il disturbo del sito a:

- 12 m oltre il perimetro dell'edificio.
- 3 m oltre i percorsi pedonali, i patii, le superfici dei parcheggi ed attrezzature di servizio di dimensioni minori di 30 cm di diametro.
- 4,5 m oltre il ciglio delle principali strade.
- 7,5 m oltre le aree costruite con superfici permeabili (come aree con pavimentazioni permeabili, sistemi per il trattamento delle acque meteoriche e campi gioco).

CASO 2: Aree antropizzate.

### APPLICAZIONE DEL CREDITO

Il nostro edificio ricade nel CASO 1 trattandosi di un'area verde confinante con terreni agricoli, per questo motivo si prevede

un'organizzazione di cantiere che rispetti tutti i requisiti previsti per limitare la compattazione del terreno ed il disturbo del sito. Il progetto prevede anche una superficie verde pari a circa 2450 m<sup>2</sup> a livello del terreno e una copertura verde di 680 m<sup>2</sup> che verrà coltivata con vegetazione autoctona o adatta caratterizzata da specie locali non invasive o infestanti.

### Pt. 1/1



FIG. 7.3.13  
Zona agricola  
limitrofa



FIG. 7.3.14  
Vista dell'area di  
progetto.

## SS Credito 5.2: Sviluppo del sito: massimizzazione degli spazi aperti

### FINALITÀ

Fornire un'elevata quantità di spazio aperto a verde in rapporto all'impronta di sviluppo per promuovere la biodiversità.

### REQUISITI

#### CASO 1

Ridurre l'impronta di sviluppo e/o fornire spazio aperto a verde all'interno dell'area di progetto per eccedere del 25% i requisiti previsti dagli strumenti urbanistici locali. In ogni caso la superficie minima di spazio aperto a verde non deve essere inferiore al 20% dell'area di progetto.

#### CASO 2

Dove esistono strumenti urbanistici locali, ma non danno requisiti minimi di spazio aperto (zero), fornire uno spazio aperto a verde che abbia una superficie maggiore o uguale al 20% dell'area di progetto.

#### PER TUTTI I CASI

Per progetti in aree urbane che soddisfano SS Credito 2, le coperture a verde e i percorsi pedonali possono contribuire al raggiungimento di questo credito. Per quest'ultimi progetti, un minimo del 25% dello spazio aperto conteggiato deve essere a verde.

Stagni/laghietti di ritenzione possono essere conteggiati come spazio aperto se le sponde hanno pendenza media 1:4

(verticale:orizzontale) o minore e sono ricoperte di vegetazione.

### APPLICAZIONE DEL CREDITO

Non possedendo dei valori minimi dati da strumenti urbanistici locali, per poter acquisire il punto lo spazio aperto a verde deve avere una superficie maggiore del 20% (2390 m<sup>2</sup>) dell'area di progetto (11950 m<sup>2</sup>).

Lo spazio aperto destinato a verde, comprensivo delle coperture verdi, è di 3130 m<sup>2</sup> > 2390 m<sup>2</sup>

### Pt. 1/1

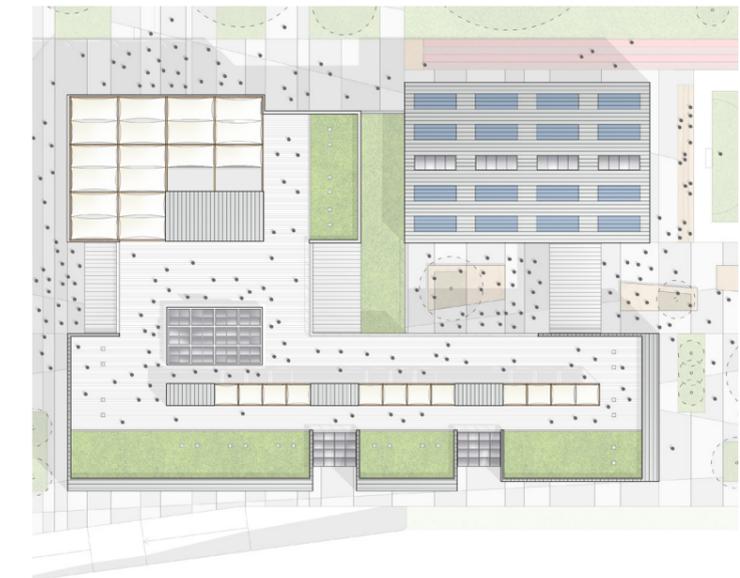


FIG. 7.3.15  
Masterplan

## SS Credito 6.1: Acque meteoriche: controllo della quantità

### FINALITÀ

Limitare le alterazioni della dinamica naturale del ciclo idrologico, mediante la riduzione delle superfici di copertura impermeabili, l'aumento delle infiltrazioni in sito, la riduzione o l'eliminazione dell'inquinamento dal deflusso delle acque meteoriche e l'eliminazione dei contaminanti.

### REQUISITI

CASO 1: Siti con impermeabilità esistente minore del 50%

#### OPZIONE 1:

Implementare un piano di gestione delle acque meteoriche per evitare che la portata di picco ed inoltre il volume di scarico dopo lo sviluppo del sito superino la portata e il volume antecedente allo sviluppo per un evento meteorico di 24 ore con un tempo di ritorno di 1 e 2 anni.

#### OPZIONE 2:

Implementare un piano di gestione delle acque meteoriche per proteggere gli alvei dei corsi d'acque da eccessiva erosione. Il piano di gestione delle acque meteoriche deve includere la protezione dell'alveo del corso d'acqua e strategie di controllo quantitativo.

CASO 2: Siti con impermeabilità esistente maggiore del 50%

### APPLICAZIONE DEL CREDITO

Il progetto ricade nel CASO 1: siti con impermeabilità esistente minore del 50%.

Viene previsto un piano di gestione delle acque meteoriche in modo da rispettare l'OPZIONE 2. Verranno realizzate delle vasche interrate allo scopo di controllare quantitativamente il volume d'acqua. L'acqua verrà inoltre, dopo essere stata filtrata e trattata, riutilizzata nei wc e a scopo irriguo.

**Pt. 1/1**

## SS Credito 6.2: Acque meteoriche: controllo della qualità

### FINALITÀ

Ridurre o eliminare le interruzioni e l'inquinamento dei deflussi d'acqua attraverso la gestione del deflusso delle acque piovane.

### REQUISITI

Implementare un piano di gestione delle acque meteoriche di dilavamento, mediante l'adozione degli migliori pratiche di gestione (BMP, Best Management Practices). Tale piano dovrà realizzare una riduzione delle superfici di copertura impermeabili, promuovere l'infiltrazione e determinare un convogliamento e trattamento del deflusso superficiale, per una quantità pari al 90% della piovosità.

### APPLICAZIONE DEL CREDITO

Si è scelto di non perseguire questo credito.

**Pt. 0/1**

## SS Credito 7.1: Effetto isola di calore: superfici esterne

### FINALITÀ

Ridurre l'effetto isola di calore (differenze di gradiente termico fra aree urbanizzate e aree verdi) per minimizzare l'impatto sul microclima e sull'habitat umano e animale.

### REQUISITI

#### OPZIONE 1:

Utilizzare una combinazione delle seguenti strategie per il 50% delle superfici esterne pavimentate (incluso strade, marciapiedi, cortili e parcheggi):

- Ombreggiare entro 5 anni dalla messa a dimora con elementi vegetali vivi che devono essere piantati prima dell'occupazione dell'edificio.
- Ombreggiare con pannelli solari e/o fotovoltaici per la produzione di energia rinnovabile.
- Ombreggiare con elementi architettonici purché rispettino un indice di riflessione solare (SRI) superiore a 29.
- Impiegare materiali di pavimentazione con SRI superiore a 29.
- Utilizzare sistemi di pavimentazione permeabile ad elementi grigliati (permeabili almeno al 50%).

#### OPZIONE 2:

Porre sotto copertura almeno il 70% degli spazi adibiti a parcheggio. Sono considerate coperture idonee una o una

combinazione, delle seguenti tipologie:

- Copertura con SRI superiore a 29.
- Copertura eseguita con soluzioni a tetto verde o con vegetazione naturale a condizione che l'ombreggiamento sia efficace entro 5 anni dall'occupazione dell'edificio.
- Coperture eseguite con pannelli solari e/o fotovoltaici utilizzati per la produzione di energia rinnovabile.
- Parcheggi posti all'interno dell'impronta dell'edificio.

#### APPLICAZIONE DEL CREDITO

Per il credito si è scelta l'OPZIONE 2.

Gli spazi adibiti a parcheggio si trovano al livello interrato, pertanto tutti posti sotto copertura o sotto il sedime dell'edificio. La copertura può essere considerata idonea in quanto eseguita con soluzioni a tetto verde, eseguita con pannelli fotovoltaici utilizzati per produrre energia rinnovabile e con pannelli Riverclack con SRI (Solar Reflectance Index) maggiore di 29.

## SS Credito 7.2: Effetto isola di calore: coperture

#### FINALITÀ

Ridurre l'effetto isola di calore (differenze di gradiente termico fra aree urbanizzate e aree verdi) per minimizzare l'impatto sul microclima e sull'habitat umano e animale.

#### REQUISITI

##### OPZIONE 1

Utilizzare materiali di copertura che abbiano SRI maggiore o uguale al valore riportato nella tabella sottostante per un minimo del 75% della superficie del tetto.

Possono essere utilizzati materiali di copertura con valori di SRI più basso di quelli elencati nella tabella sottostante a condizione che il valore medio pesato di SRI rispetto alla superficie del tetto rispetti il seguente criterio:

Equazione 1

$$\frac{\text{Area di copertura che soddisfa il minimo SRI}}{\text{Aea totale di copertura}} \times \frac{\text{SRI della copertura installata}}{\text{SRI richiesto}} \geq 75\%$$

Tabella 5-17 SRI minimo richiesto per tipologia di pendenza

TIPO DI COPERTURA	PENDENZA	SRI
Coperture a bassa pendenza	≤ 15%	78
Coperture a pendenza elevata	> 15%	29

**Pt. 1/1**

##### OPZIONE 2

Installare un sistema di copertura a verde per almeno il 50% della superficie del tetto.

##### OPZIONE 3

Installazione superfici ad elevata albedo e coperture a verde che, in combinazione, soddisfino il seguente criterio:

Equazione 2

$$\frac{\text{Area di copertura che soddisfa il minimo SRI}}{0,75} + \frac{\text{Area di tetto verde}}{0,5} \geq \text{Area totale di copertura}$$

Tabella 5-18 SRI minimo richiesto per tipologia di pendenza

TIPO DI COPERTURA	PENDENZA	SRI
Coperture a bassa pendenza	≤ 15%	78
Coperture a pendenza elevata	> 15%	29

#### APPLICAZIONE DEL CREDITO

Per il credito si è scelta l'OPZIONE 1.

La copertura del nostro edificio è composta da tre tipologie diverse di finitura: 13% tetto verde; 27% rivestimento in Riverclack chiaro con SRI maggiore di 78; 60% copertura praticabile con SRI pari a 86 > 78. Il 100% della copertura risulta essere conforme ai valori minimi di SRI indicati dalla tabella.

**Pt. 1/1**

## SS Credito 8: Riduzione dell'inquinamento luminoso.

#### FINALITÀ

Minimizzare le dispersioni luminose generate dall'edificio e dal sito, limitare la brillantezza della volta celeste al fine di incrementare l'accesso visuale notturno alla volta stessa, migliorare la visibilità notturna attraverso la riduzione del fenomeno dell'abbagliamento e ridurre l'impatto negativo indotto dall'illuminazione dell'edificio durante il periodo notturno.

#### REQUISITI

Il gruppo di progettazione deve rispettare una delle due opzioni per l'illuminazione interna e i requisiti per l'illuminazione esterna.

Per l'illuminazione interna:

##### OPZIONE 1

Ridurre attraverso dispositivi automatici di almeno il 50% tra le 23:00 e le 05:00 la potenza di alimentazione di tutti gli apparecchi d'illuminazione interna non di emergenza che hanno visibilità diretta a qualunque aperture (traslucida o trasparente) dell'involucro edilizio. Può essere garantito il controllo dopo l'orario di spegnimento attraverso un dispositivo manuale o un sensore di presenza che permetta lo spegnimento automatico entro 30 minuti.

##### OPZIONE 2

Tutte le aperture dell'involucro (trasparenti o traslucide) con

visibilità diretta degli apparecchi d'illuminazione interna non di emergenza, devono avere delle schermature (controllate/chiusure da dispositivi automatici in grado di ridurre la trasmittanza luminosa a meno del 10% tra le 23:00 e le 05:00).

Per illuminazione esterna:

Illuminare solo le aree dove sono richiesti sicurezza e confort visivo. Rispettare i criteri indicati dalla normativa UNI 10819 (Luce e illuminazione – Impianti d'illuminazione esterna – Requisiti per la limitazione della dispersione verso l'alto del flusso luminoso).

La potenza luminosa non deve superare quella consentita dallo standard ANSI/ASHRAE/IESNA 90.1-2007 (compresi Errata ma esclusi Addenda) in base alla classificazione della zona.

Dimostrare che tutti gli apparecchi d'illuminazione inseriti nel progetto non emettano luce verso l'alto (rispetto al piano orizzontale passante per l'apparecchio stesso tenuto conto del posizionamento finale degli apparecchi stessi).

- LZ1 – Zona Buia (zone esterne ai centri abitati, zone agricole o comunque con vincoli naturalistici)
- LZ2 – Zona Scarsamente Illuminata (zone residenziali con densità media)

Progettare l'impianto d'illuminazione esterna in modo tale che tutti i dispositivi d'illuminazione montati sull'edificio e nel sito producano un valore massimo iniziale d'illuminamento inferiore a 1 lux (orizzontalmente e verticalmente) in corrispondenza al confine dell'area e non più di 0,1 lux (orizzontalmente) a 3 m all'esterno del confine stesso.

- LZ3 – Zona Mediamente Illuminata (zone residenziali

con densità abitativa sopra la media con presenza di zone commerciali e produttive)

- LZ4 - Zona molto illuminata (zone residenziali caratterizzate da elevata densità abitativa e presenza massiccia di funzioni commerciali e produttive).

#### APPLICAZIONE DEL CREDITO

Per l'illuminazione interna è stata scelta l'OPZIONE 1: si prevede infatti che l'edificio sia chiuso fra le 23:00 e le 5:00 del mattino, e pertanto con solo le luci di emergenza in funzione.

Per l'illuminazione esterna invece viene previsto di illuminare soltanto le aree di progetto dove sono richiesti sicurezza e confort visivo. Tutti gli apparecchi di illuminazione inseriti non emetteranno luce verso l'alto. La zona ricade nel caso LZ2 - Zona scarsamente illuminata, in quanto l'edificio è posto poco al di fuori del centro abitato, al confine con aree agricole. L'impianto di illuminazione esterna sarà progettato in modo tale che tutti i dispositivi di illuminazione montati sull'edificio e nel sito producano un valore massimo iniziale di illuminamento inferiore a 1 lux in corrispondenza al confine dell'area e non più di 0,1 lux a 3 m dall'esterno del confine stesso.

**Pt. 1/1**

## 7.3.2 Gestione delle Acque (GA)

I crediti che fanno parte della macroarea sono riportati nella *Tabella 7.3.2*

### GA Prerequisito 1: Riduzione dell'uso dell'acqua

#### FINALITÀ

Aumentare l'efficienza nell'uso dell'acqua negli edifici per ridurre il carico sui sistemi municipali di fornitura dell'acqua e sui sistemi delle acque reflue.

#### REQUISITI

Implementare strategie che complessivamente realizzino un risparmio idrico del 20% rispetto al caso di riferimento calcolato per l'edificio in oggetto (escludendo l'irrigazione).

Calcolare il caso di riferimento conformemente ai dati per le attività commerciali e/o residenziali riportate in *Tabella 7.3.3*.

CREDITO	TITOLO	PUNTEGGIO
GA Prerequisito 1	Riduzione dell'uso dell'acqua	Obbligatorio
GA Credito 1	Gestione efficiente delle acque a scopo irriguo	2 - 4
GA Credito 2	Tecnologie innovative per le acque reflue	2
GA Credito 3	Riduzione dell'uso dell'acqua	2 - 4

I calcoli sono basati sulla stima di utilizzo degli occupanti e dovranno includere solamente le seguenti attrezzature ed accessori (come applicabili all'ambito del progetto): wc, orinatoi, rubinetti lavabo, docce, lavelli cucina e rubinetti spray di prelavaggio.

Apparecchiature commerciali	Valori di riferimento
WC commerciali	6,0 litri per flusso
Rubinetti	8,5 litri al minuto a 4 bar
Doccia	9,5 litri al minuto

TAB. 7.3.3  
Valori di riferimento.

#### APPLICAZIONE DEL CREDITO

Il calcolo dell'utilizzo dell'acqua si basa sul livello di consumo delle apparecchiature e degli accessori e sulla stima di consumo da parte degli occupanti. Il consumo stimato delle presenze è determinato partendo dal calcolo degli occupanti dell'edificio

TAB. 7.3.2  
Crediti macroarea  
Gestione delle Acque

ed applicando adeguati livelli di utilizzo delle apparecchiature. Sono state ipotizzate alcune tipologie di apparecchiature idrosanitarie:

- Wc con 3 - 4,5 litri per flusso
- Rubinetteria 2,6 l/minuto
- Doccia 5,6 l/minuto

Al fine di migliorare ulteriormente il risparmio idrico abbiamo ipotizzato di far convergere le acque piovane in apposite vasche di accumulo; queste verranno poi utilizzate per gli scarichi dei WC e per l'irrigazione del verde.

Dai calcoli risulta che l'edificio necessita di 1170,4 m<sup>3</sup>/anno di acqua per gli scarichi dei wc della scuola. L'apporto di acqua piovana calcolato risulta pari a 1869,3 m<sup>3</sup>/anno, che è abbastanza da garantire l'approvvigionamento di acqua non potabile per gli scarichi dei Wc.

Riassumiamo i dati del risparmio idrico annuo nelle *Tabelle 7.3.4, 7.3.5, 7.3.6.*

Consumo totale annuo calcolato di acqua delle apparecchiature di scarico - caso base di riferimento	1872 m <sup>3</sup>
Consumo totale annuo calcolato di acqua delle apparecchiature di scarico - caso di progetto	1170 m <sup>3</sup>
Risparmio idrico dovuto all'utilizzo dell'acqua piovana per gli scarichi dei wc	1170 m <sup>3</sup>
Consumo totale annuo calcolato di acqua potabile [m <sup>3</sup> ]	0,0 m <sup>3</sup>
Riduzione percentuale del consumo di acqua potabile delle apparecchiature idrosanitarie	100%

TAB. 7.3.4  
Consumi di acqua per le apparecchiature di scarico

**Obbligatorio**

Consumo totale annuo calcolato di acqua delle rubinetterie - caso base di riferimento	1093,3 m <sup>3</sup>
Consumo totale annuo calcolato di acqua delle rubinetterie - caso di progetto	362,4 m <sup>3</sup>
Riduzione percentuale del consumo di acqua delle rubinetterie	66,8%

TAB. 7.3.5  
Consumi di acqua per le rubinetterie

TAB. 7.3.6  
Consumi di acqua totali

Consumo totale annuo calcolato di acqua delle apparecchiature di scarico e delle rubinetterie - caso base di riferimento	2965,3 m <sup>3</sup>
Consumo totale annuo calcolato di acqua delle apparecchiature di scarico e delle rubinetterie - caso di progetto	1532,4 m <sup>3</sup>
Riduzione percentuale del consumo di acqua potabile delle apparecchiature idrosanitarie	48,3%

### GA Credito 1: Gestione efficiente delle acque a scopo irriguo

#### FINALITÀ

Limitare o evitare l'utilizzo di acque potabili, acque di superficie o del sottosuolo disponibili del sito di ubicazione dell'edificio, per scopi irrigui.

#### REQUISITI

OPZIONE 1: Riduzione dei consumi del 50% (2 Punti)

Riduzione del consumo di acqua potabile per scopi irrigui del 50% rispetto al valore calcolato come base nel periodo pienamente estivo.

Tale riduzione potrebbe essere attribuita a qualsiasi combinazione dei seguenti punti di intervento:

- Presenza di alcune specie di piante, densità e fattore microclimatico.
- Efficienza di irrigazione.
- Utilizzo di acqua piovana raccolta mediante appositi sistemi.
- Utilizzo di acque di rifiuto riciclate.
- Utilizzo di acque trattate e convogliate da sistemi pubblici per utilizzi non potabili.

OPZIONE 2: Nessun utilizzo di acqua potabile per l'irrigazione (4 Punti).

Soddisfare l'OPZIONE 1 ed inoltre:

Utilizzare solo acqua captata, acque di rifiuto recuperate, acque grigie riciclate o acque trattate e convogliate da una agenzia pubblica specifica per tutti gli usi non potabili imputati all'irrigazione.

#### APPLICAZIONE DEL CREDITO

Dai calcoli risulta che il fabbisogno di acqua per l'irrigazione del verde è di 147 m<sup>3</sup>/anno; tale fabbisogno verrà soddisfatto riducendo del 100% il bisogno di acqua potabile attraverso il sistema di raccolta dell'acqua piovana in serbatoi.

**Pt. 4/4**

## GA Credito 2: Tecnologie innovative per le acque reflue

### FINALITÀ

Ridurre la produzione di acque reflue e la richiesta di acque potabili, e nel contempo, incrementare i livelli idrici degli acquiferi.

### REQUISITI

#### OPZIONE 1

Riduzione del 50% dell'uso di acqua potabile per il convogliamento dei liquami dell'edificio, tramite l'utilizzo di apparecchiature (per esempio toilette o orinatoi) che attuano un contenimento nell'uso dell'acqua, oppure mediante l'utilizzo di acque non potabili (per esempio acqua piovana captata, acque grigie riciclate e acque reflue depurate in sito o provenienti dagli impianti di depurazione a livello municipale).

#### OPZIONE 2

Trattamento direttamente sul sito, del 50% delle acque reflue prodotte, fino a raggiungere gli standard terziari.

### APPLICAZIONE DEL CREDITO

Come già descritto per il prerequisito GA 1, il gruppo di progetto intende recuperare l'acqua piovana per lo scarico dei wc della scuola.

**Pt. 2/2**

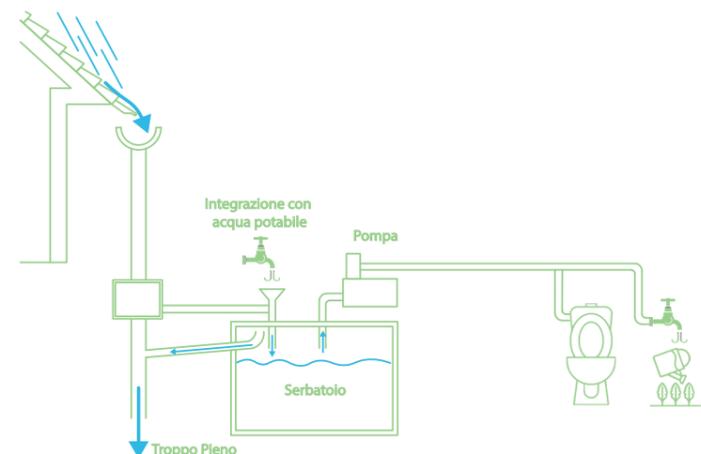


FIG. 7.3.16  
Rappresentazione grafica esemplificativa del funzionamento di una vasca.

## GA Credito 3: Riduzione dell'uso d'acqua

### FINALITÀ

Aumentare ulteriormente l'efficienza nell'uso dell'acqua negli edifici per ridurre il carico sui sistemi municipali di fornitura dell'acqua e sui sistemi delle acque reflue.

### REQUISITI

Adottare strategie che complessivamente utilizzino meno acque rispetto al caso di riferimento calcolato per l'edificio in oggetto (escludendo l'irrigazione).

Le percentuali minime di risparmio d'acqua per ogni soglia di punteggio sono descritte nella *Tabella 7.3.7*.

Effettuare il calcolo per il caso di riferimento conformemente ai dati per le attività commerciali e/o residenziali. I calcoli sono

basati sull'utilizzo stimato degli occupanti e dovranno includere solamente le seguenti attrezzature ed accessori (come applicabili all'ambito del progetto): wc, orinatoi, rubinetti lavabo, docce, lavelli cucina e valvole a spruzzo di prelavaggio. Le seguenti attrezzature, accessori ed applicazioni sono al di fuori del campo di applicazione del calcolo della riduzione del consumo idrico:

- Cucina a vapore commerciali;
- Lavastoviglie commerciali;
- Produttori automatici di ghiaccio commerciali;
- Lavatrici commerciali (dimensioni famiglia);
- Lavastoviglie standard e compatte residenziali.

TAB. 7.3.7  
Percentuali minime di risparmio d'acqua

Riduzione percentuale	Punti
30%	2
35%	3
40%	4

### APPLICAZIONE DEL CREDITO

Consultare la sezione Applicazione del credito in GA Prerequisito 1.

**Pt. 4/4**

## 7.3.3 Energia e Atmosfera (EA)

I crediti che fanno parte della macroarea sono riportati nella *Tabella 7.3.8*.

### EA Prerequisito 1: Commissioning di base dei sistemi energetici dell'edificio

### FINALITÀ

Verificare che i sistemi energetici dell'edificio siano installati, tarati e funzionino in accordo con le richieste del committente, i documenti di progetto e i documenti di appalto.

### REQUISITI

Devono essere eseguite le seguenti attività relative al processo di commissioning:

1. Nomina di una persona come responsabile del commissioning chiamato "Commissioning Authority" (CxA) al fine di guidare, rivedere e sovrintendere alle attività di commissioning.
2. La committenza deve produrre l'elaborato Requisiti della committenza (Owner's Project Requirements, OPR). I progettisti devono sviluppare l'elaborato Assunti della Progettazione (Basis of Design, BOD). Il CxA deve rivedere questi documenti al fine di verificare la chiarezza, la completezza e la compatibilità. Il committente e i progettisti sono responsabili degli aggiornamenti dei loro rispettivi documenti.
3. Redazione delle richieste specifiche per le attività

di commissioning ed inclusione di queste ultime nella documentazione di progetto e/o di appalto.

4. Sviluppo ed implementazione di un piano di commissioning.
5. Verifica dell'installazione e delle prestazioni degli impianti sottoposti a commissioning.
6. Stesura di una relazione finale sulle attività di commissioning.

Impianti da sottoporre a commissioning.

Le attività di commissioning devono essere applicate come minimo ai seguenti impianti:

- Impianti di riscaldamento, ventilazione, aria condizionata

e refrigerazione (HVAC&R) attivi e passivi ed i sistemi di regolazione e controllo ad essi associati.

- Sistemi di controllo dell'illuminazione artificiale e illuminazione naturale.
- Sistemi di produzione di acqua calda sanitaria.
- Impianti di produzione di energia rinnovabile (eolico, solare...).

#### APPLICAZIONE DEL CREDITO

Il progetto dei sistemi energetici è in accordo con la committenza, che nella fattispecie è rappresentata dal Comune

di Casatenovo.

Data la natura della committenza sono stati rispettati i limiti previsti dalla normativa vigente inerenti la Zona climatica e la destinazione dell'edificio in esame.

Il commissioning è un processo sistematico che ha lo scopo di garantire che tutti gli impianti energetici dell'edificio siano stati installati, calibrati e funzionino secondo gli intenti di progetto e secondo i requisiti progettuali dettati dalla committenza. Questo scopo lo si ottiene iniziando direttamente dalla fase di progettazione fino alla fase di costruzione con le verifiche delle performance degli impianti.

## EA Prerequisito 2: Prestazioni energetiche minime

### FINALITÀ

Stabilire un livello minimo d'efficienza energetica per gli edifici e gli impianti proposti, al fine di ridurre gli impatti economici ed ambientali derivanti da consumi eccessivi d'energia.

### REQUISITI

Si propongono due opzioni distinte per il conseguimento di questo prerequisito. In entrambi i casi l'edificio di progetto dovrà comunque rispettare le seguenti prescrizioni minime obbligatorie:

- Rispettare le disposizioni obbligatorie (sezioni 5.4, 6.4 limitatamente agli impianti di ventilazione e condizionamento, 8.4, 9.4 e 10.4) della ASHRAE/IESNA 90.1-2007.
- Rispettare i valori minimi di trasmittanza, il rendimento globale medio stagionale minimo, i valori limite sui consumi energetici annui per riscaldamento e raffrescamento e produzione di acqua calda sanitaria, prescritti dal D.Leg. 192/2005 (come modificato ed integrato dal D.Leg. 311/2006, dal DPR 59/09 e da ogni altro regolamento energetico nazionale in vigore al momento della registrazione LEED del progetto) o dai regolamenti locali più restrittivi.

In entrambe le opzioni di calcolo che seguono è necessario dimostrare un miglioramento minimo percentuale della prestazione energetica dell'edificio, pari al 10% per edifici

**Obbligatorio**

TAB. 7.3.8  
Crediti macro-  
area Energia e  
Ambiente

CREDITO	TITOLO	PUNTEGGIO
EA Prerequisito 1	Commissioning di Base dei sistemi energetici dell'edificio	Obbligatorio
EA Prerequisito 2	Prestazioni energetiche minime	Obbligatorio
EA Prerequisito 3	Gestione di base dei fluidi refrigeranti	Obbligatorio
EA Credito 1	Ottimizzazione delle prestazioni energetiche	1 - 19
EA Credito 2	Produzione in sito di energie rinnovabili	1 - 7
EA Credito 3	Commissioning avanzato dei sistemi energetici	2
EA Credito 4	Gestione avanzata dei fluidi refrigeranti	2
EA Credito 5	Misure e collaudi	3
EA Credito 6	Energia verde	2

nuovi, attraverso un calcolo della prestazione energetica dell'edificio in oggetto rispetto ai valori standard di riferimento indicati dalla opzione di calcolo prescelta.

OPZIONE 1. Procedura semplificata per la determinazione della prestazione energetica dell'edificio.

Ai fini del presente calcolo, si intende per prestazione energetica dell'edificio, la somma dei fabbisogni di energia primaria per la climatizzazione invernale ed estiva, per la produzione di acqua calda sanitaria, per l'alimentazione degli impianti di illuminazione, e per l'alimentazione di processo.

La procedura di calcolo del valore percentuale di miglioramento della prestazione energetica totale è la seguente:

$$\left(1 - \frac{EP_i + EP_e + EP_{acs} + EP_{ill} + EP_{proc} - EP_{rinn}}{EP_{i,lim} + EP_{e,lim} + EP_{acs,lim} + EP_{ill,lim} + EP_{proc}}\right) \cdot 100$$

OPZIONE 2: Simulazione energetica in regime dinamico dell'intero edificio.

#### APPLICAZIONE DEL CREDITO

Per soddisfare il requisito abbiamo scelto l'OPZIONE 1.

#### Calcolo dell'indice di prestazione energetica per l'illuminazione.

Per il calcolo dell'indice di prestazione energetica per l'illuminazione si fa riferimento alla seguente equazione:

dove:

$$EP_{ill} = \frac{LENI}{\eta_{el}}$$

- LENI è l'indice denominato Lighting Energy Numeric Indicator calcolato con il metodo semplificato tabellare proposto dalla standard UNI EN 15193:2008;

- $\eta_{el}$  è il rendimento del sistema elettrico nazionale ed è pari a 0,41.

Il LENI è calcolato attraverso la formula:

dove:

$$LENI = \frac{W}{A}$$

W [kWh/m<sup>2</sup> anno]: energia complessiva consumata su base annua per l'illuminazione;

A [m<sup>2</sup>]: superficie totale di pavimento dell'edificio analizzato.

L'impianto di illuminazione da noi ipotizzato è un impianto ad altra efficienza con un elevato controllo automatico dell'illuminazione artificiale. Attraverso il software *Termolog* abbiamo calcolato l'energia complessiva consumata su base annua per l'illuminazione:

$$W = 295036 \text{ kWh/anno}$$

L'indice LENI sarà:

$$LENI = 32,8 \text{ kWh/ m}^2 \text{ anno}$$

Possiamo dunque ricavare l'indice di prestazione energetica per l'illuminazione:

$$EP_{ill}: 80 \text{ kWh/m}^2 \text{ anno}$$

#### Calcolo dell'indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale (EP<sub>i</sub>) ed estiva (EP<sub>e</sub>) e calcolo dell'indice di prestazione energetica per la produzione di acqua calda sanitaria (EP<sub>acs</sub>)

Per il calcolo ci siamo basati sui dati estratti dal programma *Termolog* in cui sono stati inseriti tutti i parametri di progetto.

È stata inoltre considerata l'energia di processo EP<sub>proc</sub> assunta come il 25% della somma di tutte le energie, quindi pari a 13,85 kWh/m<sup>2</sup> anno.

Si determina dunque la riduzione percentuale di fabbisogno di energia primaria totale dell'edificio EP<sub>tot</sub>:

$$\left(1 - \frac{69,28}{146,91}\right) \cdot 100 = 53\%$$

**Obbligatorio**

#### EA Prerequisito 3: Gestione di base dei fluidi refrigeranti

##### FINALITÀ

Ridurre la distruzione dell'ozono stratosferico.

##### REQUISITI

Non utilizzare refrigeranti a base di CFC né di HCFC negli impianti di climatizzazione/refrigerazione nuovi, come prescritto dalla legislazione vigente in Italia.

Inoltre non devono essere installati sistemi antincendio che contengano sostanze dannose per l'ozono, come ad esempio CFC, Halons o HCFC.

##### APPLICAZIONE DEL CREDITO

Il prerequisito è ottenuto in quanto la normativa italiana ed europea vieta l'utilizzo di refrigeranti a base di CFC e HCFC.

**Obbligatorio**

## EA Credito 1 Ottimizzazione delle prestazioni energetiche

### FINALITÀ

Raggiungere livelli crescenti di prestazioni energetiche per gli edifici e gli impianti proposti, superiori ai valori minimi richiesti dalla normativa, al fine di ridurre gli impatti economico-ambientali associati all'uso eccessivo di energia.

### REQUISITI

Si propongono due opzioni distinte per il conseguimento di questo credito, ma il punteggio massimo ottenibile è diverso.

OPZIONE 1: Procedura semplificata per la determinazione della prestazione energetica dell'edificio (1 – 3 Punti).

Dimostrare un miglioramento percentuale della prestazione energetica dell'edificio in oggetto rispetto ai valori standard di riferimento riportati in *Tabella 7.3.9*.

Ai fini del presente calcolo, si intende per prestazione energetica dell'edificio, la somma dei fabbisogni di energia primaria per la climatizzazione invernale ed estiva, per la produzione di acqua calda sanitaria, per l'alimentazione degli impianti di illuminazione, e per l'alimentazione di processo.

TAB. 7.3.9  
Soglie di punteggio con le relative percentuali.

Edificio Nuovo	Punti
15%	1
20%	2
≥25%	3

OPZIONE 2. Simulazione energetica di regime dinamico dell'intero edificio (1 - 19 Punti).

### APPLICAZIONE DEL CREDITO

Consultare la sezione Applicazione del credito in EA Prerequisito 2.

**Pt. 3/19**

## EA Credito 2 Produzione in sito di energie rinnovabili

### FINALITÀ

Promuovere un livello crescente di produzione autonoma di energia da fonti rinnovabili in sito, al fine di ridurre l'impatto ambientale ed economico legato all'uso di energia da combustibili fossili.

### REQUISITI

Utilizzare sistemi di produzione da fonti rinnovabili in sito per compensare i consumi energetici dell'edificio. Calcolare la prestazione dell'edificio, indicando la produzione energetica da fonti rinnovabili come percentuale del fabbisogno annuo di energia primaria dell'edificio, utilizzando il consumo calcolato con il metodo impiegato per EA Prerequisito 2 e EA Credito 1. Per determinare il punteggio bisogna utilizzare la *Tabella 7.3.10*.

TAB. 7.3.10  
Soglie di punteggio con le relative percentuali di energia rinnovabile.

% Energia rinnovabile	Punti
2,5 %	1
5 %	2
7,5 %	3
10 %	4
12,5%	5
15 %	6
17,5 %	7

### APPLICAZIONE DEL CREDITO

Il calcolo è stato eseguito attraverso il *Modulo Solare Fotovoltaico del software Termolog*. All'interno del programma sono stati inseriti i dati relativi al pannello fotovoltaico, il numero di pannelli da installare e l'area totale captante ( corrispondente alla copertura della palestra ) pari a 803 m<sup>2</sup>. Pertanto è stato possibile inserire 500 pannelli di 1,46 m<sup>2</sup> di superficie inclinati di 36° rispetto al piano orizzontale.

La producibilità dell'impianto risulta essere di 186861,4 kWh. Nel complesso risulta una quota di energia rinnovabile pari al 64% del fabbisogno annuo di energia primaria dell'edificio che, essendo maggiore del 17,5% richiesto dal credito, ci permette di ottenere il massimo dei punti.

**Pt. 7/7**

### EA Credito 3: Commissioning avanzato dei sistemi energetici

#### FINALITÀ

Iniziare il processo di commissioning nelle prime fasi della progettazione ed eseguire attività aggiuntive dopo che le verifiche prestazionali degli impianti sono state completate.

#### REQUISITI

Eseguire, direttamente o stipulando un apposito contratto, le attività di commissioning, in aggiunta a quanto già previsto in EA Prerequisito 1, Commissioning di base dei sistemi energetici dell'edificio, ed in accordo con la linea guida di riferimento LEED 2009 Italia NC.

#### APPLICAZIONE DEL CREDITO

Come indicato in EA Prerequisito 1, vengono soddisfatte le richieste della committenza e si prevede di designare una persona come Responsabile del commissioning, il quale svolgerà le attività a lui assegnate dalla certificazione.

### EA Credito 4: Gestione avanzata dei fluidi refrigeranti

#### FINALITÀ

Minimizzare i contributi diretti al surriscaldamento globale.

#### REQUISITI

OPZIONE 1: Non utilizzare refrigeranti.

OPZIONE 2: Scegliere refrigeranti ed impianti di climatizzazione/refrigerazione che minimizzino o eliminino l'emissione di composti che contribuiscono al riscaldamento globale.

#### APPLICAZIONE DEL CREDITO

Come riportato in EA Prerequisito 3, non vengono utilizzati refrigeranti.

### EA Credito 5: Misure e Collaudi

#### FINALITÀ

Fornire una contabilizzazione nel tempo dei consumi energetici dell'edificio in fase di esercizio.

#### REQUISITI

OPZIONE 1: Sviluppare ed implementare un piano di misure e verifiche (M&V) in accordo con l'appendice F della norma UNI EN 15378 e con l'opzione D: Calibrated simulation (Saving Estimation Method 2).

OPZIONE 2: Sviluppare ed implementare un piano di misure e verifiche (M&V) in accordo con l'appendice F della norma UNI EN 15378 e con l'opzione B: Energy Conservation Measure Isolation.

#### APPROCCIO AL CREDITO

Il dato non è disponibile, in quanto trattasi di progetto non realizzato e quindi, non consente di effettuare misure e verifiche, per cui ne consegue l'attuale impossibilità nell'assegnazione dei 3 punti corrispondenti.

### EA Credito 6: Energia Verde

#### FINALITÀ

Promuovere lo sviluppo e l'impiego di tecnologie per la produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile (ad emissioni zero) con connessione alla rete elettrica nazionale.

#### REQUISITI

Soddisfare almeno il 35% del fabbisogno di energia elettrica dell'edificio con energia prodotta da fonte rinnovabile (energia verde), mediante un contratto di fornitura certificata di energia elettrica prodotta da fonti rinnovabili della durata di almeno 2 anni.

L'energia acquistata per l'ottenimento di questo credito deve soddisfare i requisiti individuati dal Gestore dei Servizi Energetici (GSE) per la produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili. La definizione di fonte rinnovabile è data dall'Art.2 del D.Lgs 387/2003.

#### APPLICAZIONE DEL CREDITO

Dimostreremo che per almeno 2 anni il 35% dell'energia elettrica sarà prodotta da fonte rinnovabile.

Pt. 2/2

Pt. 2/2

Pt. 0/3

Pt. 2/2

### 7.3.4 Materiali e Risorse (MR)

#### MR Prerequisito 1: Raccolta e stoccaggio dei materiali riciclabili.

##### FINALITÀ

Ridurre la quantità di rifiuti prodotti dagli occupanti dell'edificio che vengono trasportati e smaltiti in discarica.

##### REQUISITI

Predisporre una zona facilmente accessibile all'interno

dell'edificio dedicata alla raccolta e allo stoccaggio di materiali destinati al riciclaggio, tra cui, come minimo, carta, cartone, vetro, plastica, metalli e umido (rifiuti organici).

##### APPLICAZIONE DEL CREDITO

Il prerequisito verrà soddisfatto predisponendo in tutte le aree comuni dell'edificio (ingresso, corridoi, biblioteca, palestra e giardini) dei cestini per la raccolta differenziata, contraddistinti da colori diversi in base al tipo di rifiuti che sono destinati a contenere (carta, plastica, vetro, metalli e umido), e una zona in prossimità del centro cottura dedicata allo stoccaggio di tutte

le tipologie di rifiuti in appositi contenitori, al fine di favorire una veloce separazione dei materiali riciclabili da quelli destinati allo smaltimento in discarica.

#### MR Credito 1.1: Riutilizzo degli edifici: mantenimento di murature, solai e coperture esistenti

##### FINALITÀ

Estendere il ciclo di vita del patrimonio edilizio esistente, preservare le risorse, conservare i beni culturali, ridurre i rifiuti e l'impatto ambientale delle nuove costruzioni anche in relazione alla produzione e al trasporto dei materiali.

##### REQUISITI

Mantenere la struttura dell'edificio esistente (inclusi i solai portanti e le coperture) e dell'involucro edilizio (rivestimento esterno e pareti, ad esclusione di finestre e materiali di rivestimento non strutturali).

##### APPLICAZIONE DEL CREDITO

Non è possibile perseguire il credito poichè l'edificio non prevede il riutilizzo di strutture esistenti.

TAB 7.3.11  
Crediti macroarea  
Materiali e Risorse

CREDITO	TITOLO	PUNTEGGIO
MR Prerequisito 1	Raccolta e stoccaggio dei materiali riciclabili	Obbligatorio
MR Credito 1.1	Riutilizzo degli edifici: mantenimento delle murature, solai e coperture esistenti	1 - 3
MR Credito 1.2	Riutilizzo degli edifici: mantenimento del 50% degli elementi non strutturali interni	2
MR Credito 2	Gestione dei rifiuti da costruzione	1 - 2
MR Credito 3	Riutilizzo dei materiali	1 - 2
MR Credito 4	Contenuto riciclato	1 - 2
MR Credito 5	Materiali estratti, lavorati e prodotti a distanza limitata (materiali regionali)	1 - 2
MR Credito 6	Materiali rapidamente rinnovabili	1
MR Credito 7	Legno certificato	1

**Obbligatorio**

**Pt. 0/3**

### MR Credito 1.2: Riutilizzo degli edifici: mantenimento del 50% degli elementi non strutturali interni

#### FINALITÀ

Estendere il ciclo di vita del patrimonio edilizio esistente, preservare le risorse, conservare i beni culturali, ridurre i rifiuti e l'impatto ambientale delle nuove costruzioni anche in relazione alla produzione e al trasporto dei materiali.

#### REQUISITI

Mantenere gli elementi non strutturali interni esistenti (tramezze, porte, rivestimenti di pavimenti e di soffitti) per almeno il 50% (come superficie) dell'edificio finito, ampliamenti compresi. Se il progetto include l'ampliamento dell'edificio, questo credito non è perseguibile se l'estensione dell'ampliamento è maggiore del doppio di quella dell'edificio esistente.

#### APPLICAZIONE DEL CREDITO

Non è possibile perseguire il credito poichè l'edificio non prevede il riutilizzo di elementi non strutturali esistenti.

**Pt. 0/1**

### MR Credito 2: Gestione dei rifiuti da costruzione

#### FINALITÀ

Devviare i rifiuti delle attività di costruzione e demolizione del conferimento in discarica o agli inceneritori. Reimmettere le risorse riciclabili recuperate nel processo produttivo e reindirizzare i materiali riutilizzabili in appositi siti di raccolta.

#### REQUISITI

Riciclare e/o recuperare i rifiuti non pericolosi derivanti dalle attività di costruzione e demolizione. Sviluppare e implementare un piano di gestione dei rifiuti di cantiere che, come minimo, identifichi i materiali da non conferire in discarica e se questi siano separati in sito in modo differenziato o meno. Il terreno di scavo e i detriti risultanti dallo sgombero del terreno non contribuiscono a questo credito. I calcoli possono essere fatti secondo il peso o il volume, mantenendo poi la stessa unità di misura per tutti i calcoli. La soglia percentuale minima di rifiuti da riciclare o recuperare per ogni punto è visibile nella *Tabella 7.3.12*.

Riciclato o Recuperato	Punti
50 %	1
75 %	2

TAB 7.3.12  
Soglie di punteggio con percentuale minima di rifiuti da riciclare

#### APPLICAZIONE DEL CREDITO

È prevista, a conclusione della fase di progettazione e prima dell'inizio dei lavori, l'implementazione di un *Piano di gestione dei rifiuti di cantiere* applicabile al futuro cantiere della Nuova Scuola di Casatenovo.

Il piano andrà applicato alla totalità delle operazioni che verranno eseguite presso il cantiere; sarà compito del General Contractor coordinare la gestione dei rifiuti e la raccolta dei dati necessari al fine di comprovare il soddisfacimento dei requisiti dettati dal credito in oggetto.

L'obiettivo del *Piano di gestione dei rifiuti di cantiere* mira all'ottenimento del credito MR 2 e alla predisposizione di un sistema di gestione dei rifiuti che:

- Massimizzi il riciclo ed il recupero dei rifiuti prodotti, al fine di rendere minime le necessità di smaltimento presso discariche e inceneritori.
- Tenda, con l'adozione di adeguati accorgimenti, a limitare la produzione di rifiuti in seguito all'esecuzione delle attività di cantiere.

Verrà impostato un sistema di raccolta per separare le varie frazioni, quindi di tipo differenziato per le categorie di rifiuti considerate dalla certificazione LEED.

Con un'attenta gestione della raccolta differenziata si può riciclare il 50 % dei rifiuti di cantiere.

**Pt. 1/2**

### MR Credito 3: Riutilizzo dei materiali

#### FINALITÀ

Riutilizzare materiali e prodotti da costruzione in modo da ridurre la domanda di materiali vergini e da ridurre i rifiuti, diminuendo in questo modo gli impatti ambientali associati all'estrazione ed ai processi di lavorazione delle materie prime.

#### REQUISITI

Usare materiali recuperati, restaurati o riutilizzati in modo che la loro somma costituisca almeno il 5% o il 10%, basato sul costo, del valore totale dei materiali del progetto. La soglia percentuale minima di materiale riutilizzato per il raggiungimento di ciascun punto è riportata in *Tabella 7.3.13*.

Materiali Riutilizzati	Punti
5 %	1
10 %	2

TAB 7.3.13  
Soglie di punteggio con percentuale minima di materiale recuperato

#### APPLICAZIONE DEL CREDITO

Il credito non è perseguito perché il progetto non prevede il recupero di materiali presenti in sito.

**Pt. 0/2**

### MR Credito 4: Contenuto di riciclato

FINALITÀ

Aumentare la domanda di prodotti da costruzione che contengano materiali a contenuto di riciclato, riducendo in tal modo gli impatti derivanti dall'estrazione e dalla lavorazione di materiali vergini.

REQUISITI

Utilizzare materiali con un contenuto riciclato tale che la somma del contenuto di riciclato post-consumo e della metà del contenuto pre-consumo costituisca il 10% o il 20% basato sul costo del valore totale dei materiali utilizzati nel progetto. La percentuale di soglia minima di contenuto di riciclato per il raggiungimento di ciascun punto è riportata in *Tabella 7.3.14*.

TAB 7.3.14  
Soglie di punteggio con percentuale minima di materiale con contenuto di riciclato.

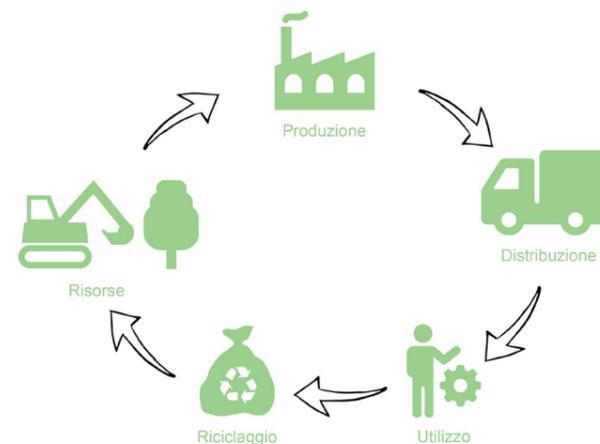
Contenuto di riciclato	Punti
5 %	1
10 %	2

APPLICAZIONE DEL CREDITO

Nella fase di progettazione abbiamo posto particolare attenzione alla scelta dei materiali, affinché avessero un alto contenuto di riciclato, fossero a loro volta il più possibile riciclabili, siano ottenuti da materie prime rigenerabili o

abbondantemente disponibili, siano prodotti in processi sicuri per i lavoratori e sostenibili per l'ambiente, ed infine, siano privi di sostanze tossiche ed inquinanti, salubri e sicuri per gli occupanti.

FIG. 7.3.17  
Ciclo di vita dei materiali riciclabili



Riportiamo di seguito alcuni esempi dei materiali maggiormente utilizzati all'interno della nuova scuola:

- Lastre in lega d'alluminio (tipo Riverclak) che garantiscono l'80% di prodotto di origine riciclata e che possono essere riciclati al 100%.

- Pannelli in fibre di legno (tipo Celenit) con il 15% di materiale riciclato e il resto proveniente da foreste certificate;
- Pannelli in polistirene espanso estruso con il 50% di materiale riciclato e riciclabili al 100%;
- Pannelli in fibra di legno rinforzati (tipo Isolair-L Pavatex) composti da materiale riciclato e riciclabili al 100%;
- Legno lamellare e Xlam riciclabile all'89%;
- La pavimentazione in Linoleum (tipo Marmoleum acustic) composta al 94% da materie prime naturali, con il 72% di materiale rapidamente rinnovabile e il 43% di materiale riciclato;
- I casseri a perdere in polipropilene rigenerato e riciclabile al 100%.

Si ipotizza che con i seguenti approvvigionamenti sia possibile ottenere una percentuale pari o maggiore del 20% di materiali con contenuto di riciclato.

### MR Credito 5: Materiali estratti, lavorati e prodotti a distanza limitata (materiali regionali)

FINALITÀ

Incrementare la domanda di materiali e prodotti da costruzione che siano estratti e lavorati a distanza limitata, sostenendo in tal modo l'uso di risorse locali e riducendo gli impatti sull'ambiente derivanti dal trasporto. Favorire l'utilizzo di trasporti a limitato impatto ambientale come quello su rotaia o via mare.

REQUISITI

OPZIONE 1

Utilizzare materiali e prodotti da costruzione che siano stati estratti, raccolti o recuperati, nonché lavorati, entro un raggio di 350 km dal sito di costruzione.

La soglia percentuale minima di materiale estratto, lavorato e prodotto a distanza limitata è riportata in *Tabella 7.3.15*.

Materiali a distanza limitata	Punti
5 %	1
10 %	2

TAB 7.3.15  
Soglie di punteggio con percentuale minima di materiale prodotto a distanza limitata

OPZIONE 2

Utilizzare materiali e prodotti da costruzione che siano stati estratti, raccolti o recuperati, nonché lavorati, entro un raggio

**Pt. 2/2**

di 1050 km dal sito di costruzione.

La soglia percentuale minima di materiale estratto, lavorato e prodotto a distanza limitata è riportata in *Tabella 7.3.15*.

#### OPZIONE 3

Utilizzare materiali e prodotti da costruzione che siano stati estratti, raccolti o recuperati, nonché lavorati a una distanza tale dal sito di costruzione per cui siano rispettati i requisiti richiesti dall'Opzione 1 e dall'Opzione 2. Le percentuali di materiali che soddisfino l'Opzione 1 e l'Opzione 2 può essere variabile ma deve essere tale che la loro somma raggiunga rispettivamente il 10% (su base costo) per ottenere 1 punto o il 20% (su base costo) per ottenere 2 punti.

#### APPLICAZIONE DEL CREDITO

Il progetto prevede l'impiego di materiali che provengono nella maggior parte dei casi da siti di produzione collocati ad una distanza minore di 350 km, pertanto si ritiene possibile l'ottenimento dei punti assegnati dal credito.

**Pt. 2/2**

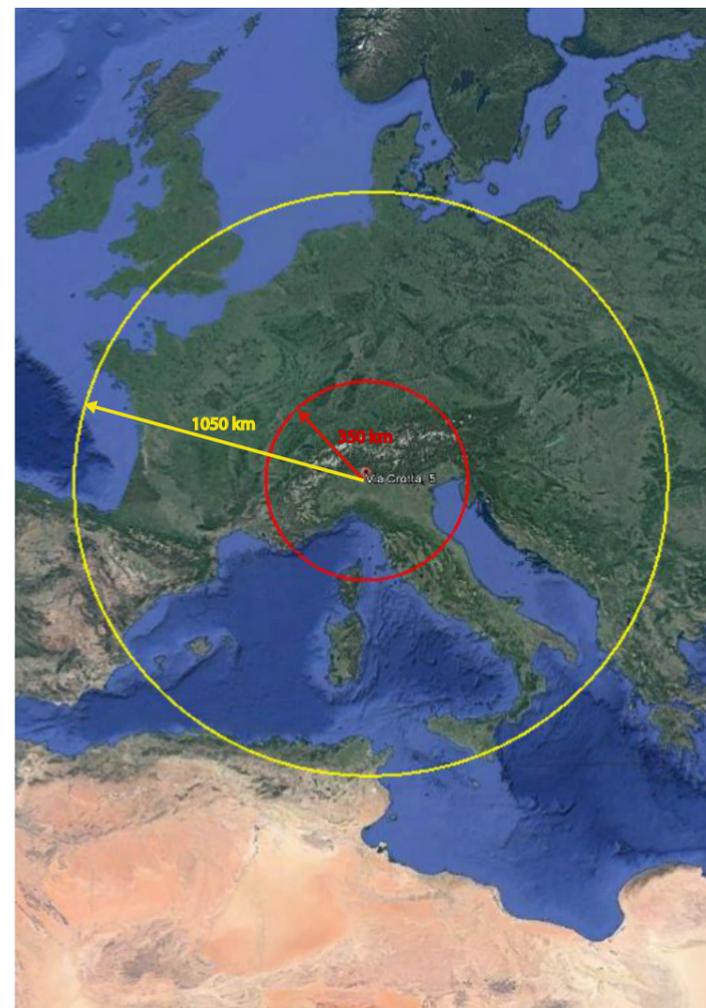


FIG. 7.3.18  
Individuazione dei  
raggi di 350 km e  
1050 km dal sito  
di progetto

### MR Credito 6: Materiali rapidamente rinnovabili

#### FINALITÀ

Ridurre l'uso e lo sfruttamento delle materie prime e dei materiali a lungo ciclo di rinnovamento, sostituendoli con materiali rapidamente rinnovabili.

#### REQUISITI

Usare materiali e prodotti da costruzione rapidamente rinnovabili per almeno il 2,5% del costo totale di tutti i materiali e prodotti da costruzione usati nel progetto.

Materiali e prodotti da costruzione rapidamente rinnovabili sono ricavati da piantagioni che hanno un ciclo di raccolta non superiore a 10 anni.

#### APPLICAZIONE DEL CREDITO

La percentuale di materiali rapidamente rinnovabili non è sufficiente ad ottenere il punto.

**Pt. 0/1**

### MR Credito 7: Legno Certificato

#### FINALITÀ

Incoraggiare l'uso ecologico e responsabile della gestione forestale.

#### APPLICAZIONE DEL CREDITO

La totalità del legno che utilizzeremo per la costruzione della nuova scuola risulta essere certificato PEFC, che è la più grande organizzazione al mondo di Certificazione Forestale.



FIG. 7.3.19  
Legno certificato  
PEFC

**Pt. 1/1**

### 7.3.5 Qualità ambientale Interna (QI)

I crediti che fanno parte della macroarea sono riportati nella *Tabella 7.3.16*.

#### QI Prerequisito 1: Prestazioni minime per la qualità dell'aria

##### FINALITÀ

Determinare i minimi prestazionali per la qualità dell'aria interna all'edificio, in modo da tutelare la salute degli occupanti, migliorare la qualità dello spazio abitato e contribuire al raggiungimento della condizioni di comfort degli occupanti stessi.

##### REQUISITI

Per tutti i progetti devono essere assicurate almeno le portate di ventilazione indicate nella UNI EN 15251 con riferimento alla Classe II. Per gli edifici non residenziali si deve fare riferimento alla categoria low polluting buildings.

##### APPLICAZIONE DEL CREDITO

L'edificio verrà ventilato meccanicamente tramite l'apporto di aria primaria e l'estrazione dell'aria ormai esausta, attraverso l'utilizzo di 5 UTA (Unità trattamento aria)

Al fine di calcolare l'aria primaria necessaria a garantire un sufficiente ricambio d'aria abbiamo utilizzato il metodo di

calcolo dettato dalla norma UNI EN 15251:2008:

$$q_{tot} = n \times q_p + A \times q_b$$

dove:

- $q_{tot}$  è la portata di ventilazione totale in ambiente [l/s];
- $n$  è il valore di progetto del numero di persone presenti in ambiente;
- $q_p$  è il tasso di ventilazione richiesto per persona [l/s per persona];
- $A$  è l'area dell'ambiente considerato [m2];
- $q_b$  è il tasso di ventilazione richiesto per metro quadro di superficie [l/s per m2].

Riportiamo in *Tabella 7.3.17* i valori relativi alla portata minima

Ambiente	Portata minima complessiva richiesta [l/s]	Portata d'aria immessa di progetto [l/s]
	3640	6512,7
	2853,9	6468,6
	1616,3	2996,6

TAB 7.3.17  
Prestazioni qualità dell'aria interna minime

complessiva richiesta e alla portata d'aria immessa di progetto per la scuola, divisa in macroambienti.

**Obbligatorio**

CREDITO	TITOLO	PUNTEGGIO
QI Prerequisito 1	Prestazioni minime per la qualità dell'aria	Obbligatorio
QI Prerequisito 2	Controllo ambientale del fumo di tabacco	Obbligatorio
QI Credito 1	Monitoraggio della portata d'aria di rinnovo	1
QI Credito 2	Incremento della ventilazione	1
QI Credito 3.1	Piano di gestione IAQ: fase costruttiva	1
QI Credito 3.2	Piano di gestione IAQ: prima dell'occupazione	1
QI Credito 4.1	Materiali basso emissivi: adesivi, primer, sigillanti, materiali cementizi e finiture per legno	1
QI Credito 4.2	Materiali basso emissivi: pitture	1
QI Credito 4.3	Materiali basso emissivi: pavimentazioni	1
QI Credito 4.4	Materiali basso emissivi: prodotti in legno composito e fibre vegetali	1
QI Credito 5	Controllo delle fonti chimiche ed inquinanti indoor	1
QI Credito 6.1	Controllo e gestione degli impianti: illuminazione	1
QI Credito 6.2	Controllo e gestione degli impianti: comfort termico	1
QI Credito 7.1	Comfort termico: progettazione	1
QI Credito 7.2	Comfort termico: verifica	1
QI Credito 8.1	Luce naturale e visione: luce naturale per il 75% degli spazi	1
QI Credito 8.2	Luce naturale e visione: luce naturale per il 90% degli spazi	1

TAB 7.3.16  
Crediti macroarea  
Qualità ambientale  
Interna

## QI Prerequisito 2: Controllo ambientale del fumo di tabacco

### FINALITÀ

Minimizzare l'esposizione al fumo di tabacco ambientale (ETS – Environmental Tobacco Smoke) degli occupanti dell'edificio, delle aree interne e dei sistemi di ventilazione.

### REQUISITI

CASO 1: Tutti i progetti

#### OPZIONE 1

Divieto di fumo entro una distanza di almeno 8 metri dagli ingressi e dalle finestre apribili. Definire con opportuna segnaletica le zone in cui sia consentito fumare, in cui sia vietato fumare o di vietare il fumo su tutta la proprietà.

#### OPZIONE 2

Divieto di fumo all'interno dell'edificio, tranne in aree dedicate.

### APPLICAZIONE DEL CREDITO

La legge n.3 del 16 gennaio 2003, impedisce di fumare all'interno di tutti gli edifici pubblici. Per rispondere a questa legge e ai requisiti del credito sarà vietato fumare all'interno dell'edificio e entro 8 metri da tutte le aperture.

Per segnalare questa politica antifumo sarà posizionata all'interno del sito la cartellonistica necessaria.

**Obbligatorio**

## QI Credito 1: Monitoraggio della portata dell'aria di rinnovo

### FINALITÀ

Fare in modo che il sistema di monitoraggio della ventilazione contribuisca a mantenere il comfort ed il benessere degli occupanti.

### REQUISITI

Installare sistemi di monitoraggio permanenti per assicurare il mantenimento dei requisiti minimi di ventilazione di progetto. Configurare tutte le componenti dei sistemi di monitoraggio per generare un segnale di allarme quando i livelli dello scostamento dei valori di CO2 variano rispetto ai valori di progetto del 10% o più; l'allarme generato dall'impianto automatico deve essere inviato al gestore dell'edificio o attraverso un allarme visivo e audio, agli occupanti dell'edificio.

### APPLICAZIONE DEL CREDITO

Credito non perseguito

**Pt. 0/1**

## QI Credito 2: Incremento della ventilazione

### FINALITÀ

Fornire un ricambio d'aria addizionale al fine di migliorare la qualità dell'aria interna e promuovere il comfort, il benessere e la produttività degli occupanti. Tale requisito è necessario in quanto i livelli di inquinamento interno, nel momento di occupazione degli spazi, sono difficilmente controllabili con livelli minimi di ventilazione suggeriti dalla legislazione vigente.

### REQUISITI

CASO 1. Spazi ventilati meccanicamente

Per tutti i progetti devono essere assicurate come minimo le portate di ventilazione indicate nella UNI EN 15251 con riferimento Classe I. Per gli edifici non residenziali si deve fare riferimento alla categoria low polluting buildings.

CASO 2. Spazi ventilati naturalmente

### APPLICAZIONE DEL CREDITO

Come già scritto nel QI Prerequisito 1 la progettazione dell'impianto è stata eseguita secondo norma. Un ricambio d'aria addizionale può essere fornito dalla ventilazione naturale derivante dall'apertura delle finestre e delle porte-finestra in corrispondenza dei corridoi e delle aule.

**Pt. 1/1**

## QI Credito 3.1: Piano di gestione IAQ: fase costruttiva

### FINALITÀ

Ridurre i problemi di qualità dell'aria interna derivanti dai processi di costruzione/ristrutturazione al fine di garantire il comfort ed il benessere degli addetti ai lavori di costruzione e degli occupanti dell'edificio.

### REQUISITI

Sviluppare e implementare un Piano di Gestione della Qualità dell'Aria Interna (Indoor Air Quality, IAQ) per la fase costruttiva e quella precedente l'occupazione dell'edificio

### APPLICAZIONE DEL CREDITO

Al momento, con i dati a nostra disposizione, l'intervento prevede soltanto la protezione dei materiali assorbenti, installati e stoccati sul sito, da danni derivanti dall'umidità. Per questo non sarà possibile assegnare il punto relativo al credito.

**Pt. 0/1**

### QI Credito 3.2: Piano di gestione IAQ: prima dell'occupazione

#### FINALITÀ

Ridurre i problemi di qualità dell'aria interna derivanti dai processi di costruzione/ristrutturazione al fine di garantire il comfort ed il benessere degli addetti ai lavori di costruzione e degli occupanti l'edificio.

#### REQUISITI

Sviluppare e implementare un Piano di Gestione della Qualità dell'Aria Interna (Indoor Air Quality, IAQ) dopo che tutte le finiture siano state realizzate e che l'edificio sia stato completamente pulito prima dell'occupazione, come segue:

#### OPZIONE 1: Flush-Out

Terminata la fase costruttiva, prima dell'inizio dell'occupazione, dopo aver realizzato tutte le finiture interne, effettuare un flush-out dell'edificio fornendo una quantità maggiore di 4400 m<sup>3</sup> di aria esterna per ogni metro quadro di superficie interna, mantenendo contemporaneamente una temperatura interna superiore a 16°C ed una umidità relativa non superiore al 60%.

#### OPZIONE 2: Verifica della qualità dell'aria

#### APPLICAZIONE DEL CREDITO

Si è scelto di perseguire l'OPZIONE 1 e prevedere l'immissione di almeno 4400 m<sup>2</sup> di aria per ogni m<sup>2</sup> di superficie.

**Pt. 1/1**

### QI Credito 4.1: Materiali basso emissivi: adesivi, primer, sigillanti, materiali cementizi e finiture per legno

#### FINALITÀ

Ridurre all'interno dell'edificio i contaminanti che risultano odorosi, irritanti e/o nocivi per il comfort e il benessere degli installatori e degli occupanti.

#### REQUISITI

Tutti gli adesivi, primer, sigillanti, prodotti cementizi e vernici per legno usati all'interno dell'edificio devono soddisfare il seguente requisito:

- I prodotti devono rispettare la classificazione GEV Ecode EC1.
- Tutti i materiali devono rispettare i limiti di emissione di sostanze cancerogene, tossiche o mutagene (CMR), così come previsto dal protocollo GEV.

#### APPLICAZIONE DEL CREDITO

La scelta dei materiali e dei prodotti chimici che verranno installati in cantiere è ricaduta su prodotti che hanno un basso contenuto di Composti Organici Volatili (VOC), che rientrano quindi nella certificazione LEED.

**Pt. 1/1**

### QI Credito 4.2: Materiali basso emissivi: pitture

#### FINALITÀ

Ridurre all'interno dell'edificio i contaminanti che risultano odorosi, irritanti e/o nocivi per il comfort e il benessere degli installatori e degli occupanti.

#### REQUISITI

Le pitture utilizzate all'interno dell'edificio devono attenersi ai seguenti criteri:

La direttiva 2004/42/CE, che disciplina il contenuto massimo ammissibile di VOC all'interno delle formulazioni di pitture (espresso in g/l), è stata emendata per ridurre ulteriormente il tenore dei solventi dei prodotti.

#### APPLICAZIONE DEL CREDITO

Prima di scegliere le pitture che verranno utilizzate in cantiere è necessario effettuare un'analisi del contenuto di VOC e verificare che rientrino nei parametri richiesti. Le certificazioni riguardanti le pitture utilizzate saranno prodotte in fase esecutiva a ordini eseguiti.

**Pt. 1/1**

### QI Credito 4.3: Materiali basso emissivi: pavimentazioni

#### FINALITÀ

Ridurre all'interno dell'edificio i contaminanti che risultano odorosi, irritanti e/o nocivi per il comfort e il benessere degli installatori e degli occupanti

#### REQUISITI

Tutte le pavimentazioni resilienti devono essere certificate con il sistema FloorScore (come indicato per il 2009, o con versione maggiormente restrittiva) da un ente terzo indipendente.

#### APPLICAZIONE DEL CREDITO

Tutta la pavimentazione interna dell'edificio è in Linoleum (tipo Marmoleum acoustic) ed è certificata dal sistema FloorScore.

**Pt. 1/1**

### QI Credito 4.4: Materiali basso emissivi: prodotti in legno composito e fibre vegetali

#### FINALITÀ

Ridurre all'interno dell'edificio i contaminanti che risultano odorosi, irritanti e/o nocivi per il comfort e il benessere degli installatori e degli occupanti.

#### REQUISITI

I prodotti in legno composito e fibre vegetali utilizzati all'interno dell'edificio (posti all'interno dell'involucro impermeabile e applicati in sito) non devono contenere aggiunte di resine ureaformaldeide.

Gli adesivi da giunzione utilizzati in sito e gli assemblati in fibre vegetali e in legno composito non devono contenere aggiunte di resine urea-formaldeide.

I prodotti in legno composito e in fibre vegetali sono definiti come: pannelli, pennelli di fibre a media densità (MDF), compensato, pannelli di grano, pannelli di paglia, sottostrati di pannelli e anime di porte.

#### APPLICAZIONE DEL CREDITO

I prodotti assemblati in legno presentano incollaggi non emissivi di formaldeide (in particolare il legno lamellare a strati incociati è costituito da lamelle incollate mediante colla priva di formaldeide).

**Pt. 1/1**

### QI Credito 5: Controllo delle fonti chimiche ed inquinanti indoor

#### FINALITÀ

Minimizzare l'esposizione degli occupanti a particolato ed inquinanti chimici potenzialmente pericolosi.

#### REQUISITI

Minimizzare e controllare l'ingresso di inquinanti all'interno degli edifici, e la successiva contaminazione delle aree regolarmente occupate.

#### APPLICAZIONE DEL CREDITO

Per rispettare il requisito verranno predisposti:

- tappeti removibili, in corrispondenza di tutti gli ingressi, che verranno giornalmente puliti da parte del personale non docente della scuola;
- filtri d'aria antipolvere installati nelle aree regolarmente occupate;
- contenitori adeguati per lo smaltimento dei rifiuti liquidi pericolosi nei luoghi in cui possa avvenire una miscelazione tra l'acqua e sostanze chimiche concentrate, come per esempio il laboratorio di scienze.

**Pt. 1/1**

### QI Credito 6.1: Controllo e gestione degli impianti: illuminazione

#### FINALITÀ

Fornire a singoli gruppi di utenti la possibilità di effettuare una regolazione dell'impianto di illuminazione compatibile con le loro necessità in modo da favorire la produttività e il comfort degli occupanti dell'edificio.

#### REQUISITI

Garantire la possibilità di una regolazione individuale dell'impianto di illuminazione per almeno il 90% degli occupanti in maniera di poter adattare l'intensità luminosa alle necessità e alle preferenze individuali. Garantire il controllo dell'impianto di illuminazione in tutti gli spazi collettivi in maniera da poter adattare l'intensità luminosa alle necessità e alle preferenze del gruppo di utenti.

#### APPLICAZIONE DEL CREDITO

Al fine del raggiungimento del credito è previsto che ogni ambiente abbia interruttori che permettano a ciascun utente fruitore la regolazione dell'impianto di illuminazione. Per quanto riguarda le aule gli utenti possono gestire la luce anche tramite tendaggi esterni che consentono un adeguato oscuramento in funzione della necessità.

**Pt. 1/1**

### QI Credito 6.2: Controllo e gestione degli impianti: comfort termico

#### FINALITÀ

Permettere un elevato controllo sugli impianti, atti a garantire il comfort termico, da parte dei singoli utenti o di gruppi di persone che utilizzano gli spazi collettivi in modo da favorire il comfort, il benessere e la produttività degli occupanti dell'edificio.

#### REQUISITI

Garantire possibilità di controllo e regolazione individuale del comfort per almeno il 50% degli occupanti dell'edificio, al fine di regolazione locale e il conseguente soddisfacimento dei bisogni e delle preferenze individuali.

#### APPLICAZIONE DEL CREDITO

Il comfort termico non è gestibile dal singolo utente, per cui non sarà possibile ottenere il punto relativo al credito.

**Pt. 0/1**

### QI Credito 7.1: Comfort termico: progettazione

#### FINALITÀ

Fornire un ambiente confortevole che favorisca il benessere e la produttività degli occupanti dell'edificio.

#### REQUISITI

Progettare impianti HVAC e l'involucro edilizio in modo da rispettare i requisiti della norma UNI EN 15251:2008 e UNI 10339 e le condizioni di comfort termico per gli occupanti verificate con il metodo descritto nella UNI EN ISO 7730:2006. Dimostrare la conformità del progetto in accordo con la sezione 6.1.1 (Documentation) della norma ASHRAE 55-2004.

#### APPLICAZIONE DEL CREDITO

Il valore di MET, Metabolic Equivalent, è definito sulla base dell'attività svolta nell'edificio. L'attività prevalentemente svolta all'interno della scuola è un'attività con caratteristiche di sedentarietà, a cui è associato un MET pari a 1,2.

Per la resistenza termica dei vestiti, dai parametri della norma UNI EN 7730:2006, vengono scelti i valori di clo=0,5 e clo=1 rispettivamente per l'estate e per l'inverno.

Le condizioni esterne di progetto sono:

- Temperatura esterna estiva: 31,1 °C
- Umidità relativa esterna estiva: 42%
- Temperatura esterna invernale: -5,7 °C
- Umidità relativa esterna invernale: 38,7%

Le condizioni interne di progetto sono:

- Temperatura interna estiva: 26 °C
- Umidità relativa interna estiva: 50%
- Temperatura interna invernale: 20 °C
- Umidità relativa interna invernale: 50%

Dalle direttive per la progettazione, la massima velocità dell'aria in ambiente deve essere pari o inferiore a 0,2 m/s. L'impianto sarà regolato affinché la velocità dell'aria sia:

- 0,2 m/s per la stagione estiva;
- 0,15 m/s per la stagione invernale.

Ai fini della verifica del credito sono stati calcolati gli indici di benessere sia secondo la norma UNI EN 7730:2006 sia secondo la norma ASHRAE 55-2004.

#### Verifica dell'indice di benessere secondo la norma UNI EN 7730:2006

Per la stagione estiva (Fig. 7.3.20):

Verifica PMV:  $-0,5 < 0,1 < +0,5$  [Valore soddisfatto]

Per la stagione invernale (Fig. 7.3.21):

Verifica PMV:  $-0,5 < 0,4 < +0,5$  [Valore soddisfatto]

#### Verifica dell'indice di benessere secondo la norma ASHRAE 55-2004

La verifica viene realizzata utilizzando i parametri di progetto scritti in precedenza e facendo una verifica di tipo grafico (Fig. 7.3.22 e Fig.7.3.23).

Pt. 1/1

Parameter	Input	
Clothing (clo)	0.50	[0 to 2clo]
Air temp. (°C)	26.0	[10 to 30°C]
Mean radiant temp. (°C)	26.0	[10 to 40°C]
Activity (met)	1.2	[0.8 to 4met]
Air speed (m/s)	0.20	[0 to 1m/s]
Relative humidity (%)	42.0	[30 to 70%]

Calculate PMV

Parameter	Results
Operative temp. (°C)	26
PMV	0.1
PPD	5.2

Number of iterations: 8

Modified by Mikael Nilsson  
Department of Technology and Built Environment  
Laboratory of Ventilation and Air Quality  
University of Gävle

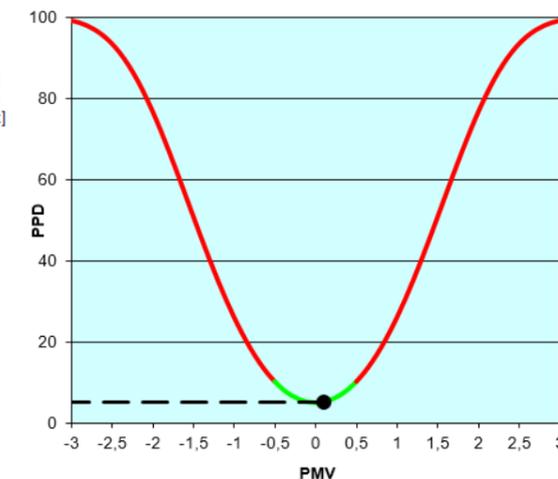


FIG. 7.3.20  
PMV verifica estiva

Parameter	Input	
Clothing (clo)	1.00	[0 to 2clo]
Air temp. (°C)	20.0	[10 to 30°C]
Mean radiant temp. (°C)	20.0	[10 to 40°C]
Activity (met)	1.2	[0.8 to 4met]
Air speed (m/s)	0.15	[0 to 1m/s]
Relative humidity (%)	50.0	[30 to 70%]

Calculate PMV

Parameter	Results
Operative temp. (°C)	20
PMV	-0.4
PPD	8.3

Number of iterations: 7

Modified by Mikael Nilsson  
Department of Technology and Built Environment  
Laboratory of Ventilation and Air Quality  
University of Gävle

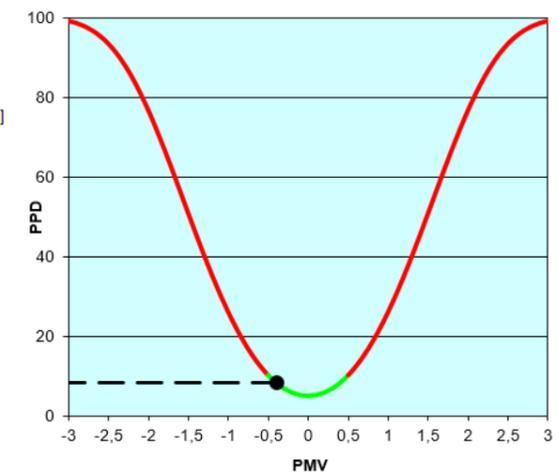


FIG. 7.3.21  
PMV verifica invernale

FIG. 7.3.22  
Diagramma  
ASHRAE del  
benessere per la  
stagione estiva

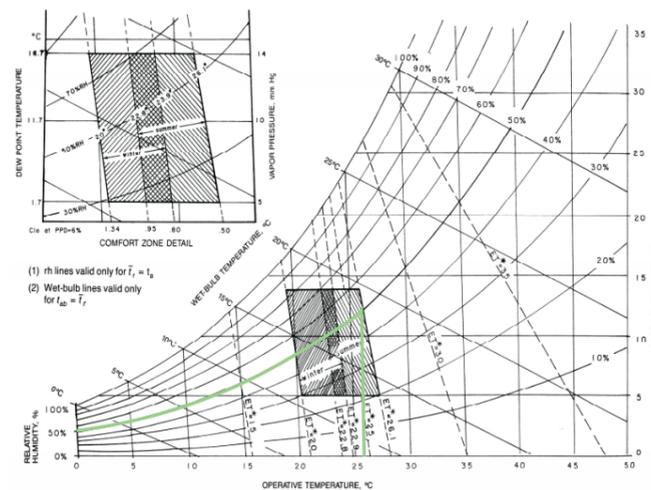
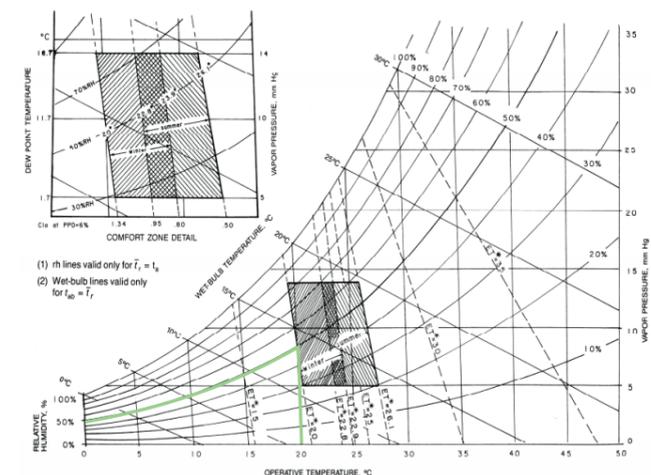


FIG. 7.3.23  
Diagramma  
ASHRAE del  
benessere per la  
stagione invernale



### QI Credito 7.2: Comfort termico: verifica

#### FINALITÀ

Fornire una valutazione nel tempo del comfort termico dell'edificio.

#### REQUISITI

Conseguire il credito QI 7.1, Comfort termico: progettazione; E INOLTRE Nel periodo compreso fra i 6 e i 18 mesi successivi all'occupazione dell'edificio, realizzare fra gli occupanti un sondaggio sul comfort termico. Questo sondaggio dovrà raccogliere risposte anonime sul comfort termico dell'edificio, includendo una valutazione complessiva sulla soddisfazione delle prestazioni termiche e l'identificazione degli eventuali problemi legati al comfort termico.

#### APPLICAZIONE DEL CREDITO

Il dato non è disponibile in quanto il requisito richiede verifiche da effettuare in seguito alla realizzazione e occupazione della scuola. Per ottenere il credito si dovrà predisporre un questionario sul comfort termico e farlo compilare a tutti gli occupanti dell'edificio in forma anonima.

Pt. 0/1

### QI Credito 8.1: Luce naturale e visione: luce naturale per il 75% degli spazi

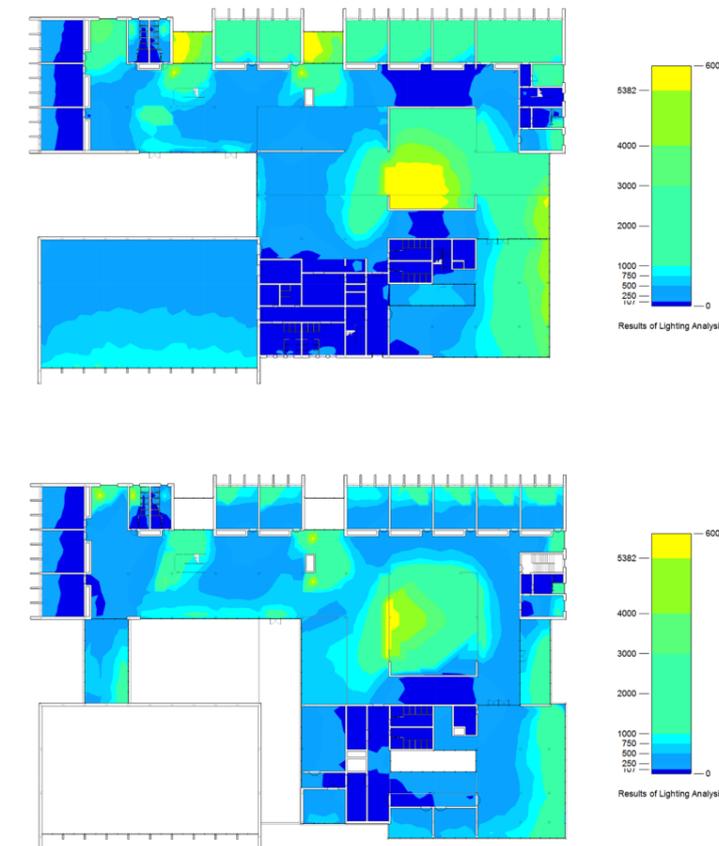
#### FINALITÀ

Nelle aree occupate in modo continuativo garantire il contatto diretto degli occupanti dell'edificio con l'ambiente esterno attraverso l'illuminazione naturale degli spazi e un'adeguata percezione visiva dell'esterno.

#### REQUISITI

- OPZIONE 1: Simulazione  
Dimostrare, per mezzo di un software di simulazione, il raggiungimento del valore di illuminamento naturale compreso da un minimo di 250 lux a un massimo di 5000 lux in almeno 75% degli spazi regolarmente occupati, in condizioni di cielo sereno, il 21 Settembre alle ore 9.00 e alle ore 15.00. Comunque il progetto che è dotato di sistemi di schermatura automatica atti a preservare la vista degli occupanti tramite il controllo dell'abbagliamento può dimostrare la conformità con il solo raggiungimento del valore minimo di illuminamento pari a 250 lux.
- OPZIONE 2: Prescrittiva
- OPZIONE 3: Calcolo del fattore di luce diurna
- OPZIONE 4: Misurazione
- OPZIONE 5: Combinazione

FIG. 7.3.24  
Distribuzione dei  
lux all'interno  
degli ambienti  
scolastici.



## APPLICAZIONE DEL CREDITO

Per perseguire il credito è stata scelta l'OPZIONE 1. Attraverso il software *Revit*, scelto per la simulazione, abbiamo dimostrato (FIG. 7.3.24) che la scuola presenta una superficie, con valore di illuminamento compreso tra 250 lux e 5000 lux, pari al 77% del totale per la simulazione delle ore 9:00 e pari al 82% per la simulazione delle ore 15:00. Entrambe le simulazioni sono state ipotizzate il 21 settembre con condizioni di cielo sereno.

### QI Credito 8.2: Luce naturale e visione: visuale esterna per il 90% degli spazi

## FINALITÀ

Nelle aree occupate in modo continuativo garantire il contatto diretto degli occupanti dell'edificio con l'ambiente esterno attraverso l'illuminazione naturale degli spazi e una adeguata percezione visiva dell'esterno.

## REQUISITI

Assicurare, il almeno il 90% degli spazi occupati in modo continuativo, che attraverso le superfici trasparenti poste ad un'altezza misurata a partire dal piano di calpestio compresa tra 0,85 e 2,3 m, gli occupanti abbiano una visione diretta verso l'ambiente esterno senza ostacoli interposti.

## APPLICAZIONE DEL CREDITO

Analizzando la pianta della scuola si può notare come al 100% degli spazi occupati in modo continuativo è stata garantita una visuale di ampio respiro (vista di qualità) verso l'esterno. Anche gli spazi, come ad esempio l'atrio, la zona ristoro e le zone per lo studio comune, possono godere della vista verso l'esterno attraverso le ampie vetrate.

Pt. 1/1

Pt. 1/1

## 7.3.6 Innovazione della Progettazione (IP)

### IP Credito 1: Innovazione nella progettazione

## FINALITÀ

Consentire ai gruppi di progettazione e ai progetti di conseguire prestazioni esemplari rispetto ai requisiti previsti dal sistema LEED e/o prestazioni innovative negli ambiti della sostenibilità non specificatamente trattati in LEED.

## REQUISITI

PERCORSO 1: Innovazione alla progettazione (1-5 Punti)

PERCORSO 2: Prestazioni esemplari (1-3 punti)

Raggiungimento di una prestazione eccezionale per un credito.

## APPLICAZIONE DEL CREDITO

Per questa famiglia di crediti si è scelto di conseguire un punto attraverso l'ottenimento della prestazione esemplare nel Credito SS 7.2: Effetto isola di calore: coperture.

Pt. 1/5

Pt. 0/1

CREDITO	TITOLO	PUNTEGGIO
IP Credito 1	Innovazione nella progettazione	1 - 5
IP Credito 2	Professionista accreditato LEED	1

TAB. 7.3.18  
Crediti macroarea  
Innovazione nella  
Progettazione

### 7.3.7 Priorità Regionale

#### PR Credio 1: Priorità Regionale

##### FINALITÀ

Incentivare il conseguimento dei crediti orientati alle specifiche priorità ambientali locali.

##### REQUISITI

Ottenere da 1 a 4 dei 6 crediti della sezione PR (Priorità Regionale) identificati da GBC Italia in base all'importanza ambientale della zona in cui è collocato il progetto.

I crediti di Priorità Regionale selezionati per il protocollo LEED Italia Nuove Costruzioni e Ristrutturazioni sono:

- Credito GA 1, Gestione efficiente delle acque scopo irriguo;
- Credito GA 2, Tecnologie innovative per le acque reflue;
- Credito GA 3, Riduzione dell'uso dell'acqua;
- Credito EA 1, Ottimizzazione delle prestazioni energetiche;
- Credito EA 3, Commissioning avanzato dei sistemi energetici;
- Credito EA 5, Misure e collaudi.

##### APPLICAZIONE DEL CREDITO

Abbiamo scelto di ottenere 2 punti per i crediti di PR attraverso i seguenti crediti: Credito GA 1 e Credito GA 3.

LEED 2009 Italia Nuove Costruzioni e Ristrutturazioni			
Lista di controllo dei crediti			
Progetto: Nuova Scuola a Casatenovo			
Data			
<b>24</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>Sostenibilità del Sito</b> Punti max: 26
Y	N	?	
Y			Prereq 1 Prevenzione dell'Inquinamento da Attività di Cantiere
1			Credito 1 Selezione del Sito 1
5			Credito 2 Densità Edilizia e Vicinanza ai Servizi 5
1			Credito 3 Recupero e Riqualficazione dei Siti Contaminati 1
6			Credito 4.1 Trasporti Alternativi: Accesso ai Trasporti Pubblici 6
1			Credito 4.2 Trasporti Alternativi: Portabiciclette e Spogliatoi 1
3			Credito 4.3 Trasporti Alternativi: Veicoli a Bassa Emissione e a Carburante Alternativo 3
2			Credito 4.4 Trasporti Alternativi: Capacità dell'Area di Parcheggio 2
1			Credito 5.1 Sviluppo del Sito: Proteggere e Ripristinare l'Habitat 1
1			Credito 5.2 Sviluppo del Sito: Massimizzazione degli Spazi Aperti 1
1			Credito 6.1 Acque Meteoriche: Controllo della Quantità 1
1			Credito 6.2 Acque Meteoriche: Controllo della Qualità 1
1			Credito 7.1 Effetto Isola di Calore: Superfici Esterne 1
1			Credito 7.2 Effetto Isola di Calore: Coperture 1
1			Credito 8 Riduzione dell'Inquinamento Luminoso 1
<b>10</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>Gestione delle Acque</b> Punti max: 10
Y			Prereq 1 Riduzione dell'Uso dell'Acqua
4			Credito 1 Gestione Efficiente delle Acque a Scopo Irriguo 2 to 4
2			Riduzione dei Consumi del 50%
4			Nessun Uso di Acqua Potabile per l'Irrigazione 4
2			Credito 2 Tecnologie Innovative per le Acque Reflue 2
4			Credito 3 Riduzione dell'Uso dell'Acqua 2 to 4
2			Riduzione del 30%
3			Riduzione del 35%
4			Riduzione del 40%
<b>14</b>	<b>0</b>	<b>5</b>	<b>Energia e Atmosfera</b> Punti max: 35
Y			Prereq 1 Commissioning di Base dei Sistemi Energetici dell'Edificio
Y			Prereq 2 Prestazioni Energetiche Minime
Y			Prereq 3 Gestione di Base dei Fluidi Refrigeranti
3			Credito 1 Ottimizzazione delle Prestazioni Energetiche 1 to 19
			Riduzione del fabbisogno di 12% per Nuove Costruzioni e di 8% per Ristrutturazioni 1
			Riduzione del fabbisogno di 14% per Nuove Costruzioni e di 10% per Ristrutturazioni 2
			Riduzione del fabbisogno di 16% per Nuove Costruzioni e di 12% per Ristrutturazioni 3
			Riduzione del fabbisogno di 18% per Nuove Costruzioni e di 14% per Ristrutturazioni 4
			Riduzione del fabbisogno di 20% per Nuove Costruzioni e di 16% per Ristrutturazioni 5
			Riduzione del fabbisogno di 22% per Nuove Costruzioni e di 18% per Ristrutturazioni 6
			Riduzione del fabbisogno di 24% per Nuove Costruzioni e di 20% per Ristrutturazioni 7
			Riduzione del fabbisogno di 26% per Nuove Costruzioni e di 22% per Ristrutturazioni 8
			Riduzione del fabbisogno di 28% per Nuove Costruzioni e di 24% per Ristrutturazioni 9
			Riduzione del fabbisogno di 30% per Nuove Costruzioni e di 26% per Ristrutturazioni 10

TAB. 7.3.19  
Check List LEED

Pt. 2/4

			Riduzione del fabbisogno di 32% per Nuove Costruzioni e di 28% per Ristrutturazioni 11
			Riduzione del fabbisogno di 34% per Nuove Costruzioni e di 30% per Ristrutturazioni 12
			Riduzione del fabbisogno di 36% per Nuove Costruzioni e di 32% per Ristrutturazioni 13
			Riduzione del fabbisogno di 38% per Nuove Costruzioni e di 34% per Ristrutturazioni 14
			Riduzione del fabbisogno di 40% per Nuove Costruzioni e di 36% per Ristrutturazioni 15
			Riduzione del fabbisogno di 42% per Nuove Costruzioni e di 38% per Ristrutturazioni 16
			Riduzione del fabbisogno di 44% per Nuove Costruzioni e di 40% per Ristrutturazioni 17
			Riduzione del fabbisogno di 46% per Nuove Costruzioni e di 42% per Ristrutturazioni 18
			Riduzione del fabbisogno di 48% per Nuove Costruzioni e di 44% per Ristrutturazioni 19
7			Credito 2 Produzione in sito di Energie Rinnovabili 1 to 7
			2.5% diEnergie Rinnovabili 1
			5% diEnergie Rinnovabili 2
			7.5% diEnergie Rinnovabili 3
			10% diEnergie Rinnovabili 4
			12.5% diEnergie Rinnovabili 5
			15% diEnergie Rinnovabili 6
			17.5% diEnergie Rinnovabili 7
2			Credito 3 Commissioning Avanzato dei Sistemi Energetici 2
2			Credito 4 Gestione Avanzata dei Fluidi Refrigeranti 2
		3	Credito 5 Misure e Collaudi 3
		2	Credito 6 Energia Verde 2
<b>6</b>	<b>1</b>	<b>7</b>	<b>Materiali e Risorse</b> Punti max: 14
Y			Prereq 1 Raccolta e Stoccaggio dei Materiali Riciclabili
		3	Credito 1.1 Riutilizzo degli Edifici: Mantenimento di Murature, Solai e Coperture Esistenti 1 to 3
			Riutilizzo del 55% 1
			Riutilizzo del 75% 2
			Riutilizzo del 95% 3
		1	Credito 1.2 Riutilizzo degli Edifici: Mantenimento del 50% degli Elementi Non Strutturali Interni 1
1	1		Credito 2 Gestione dei Rifiuti da Costruzione 1 to 2
			50% di Contenuto Riciclato o Recuperato 1
			75% di Contenuto Riciclato o Recuperato 2
		2	Credito 3 Riutilizzo dei Materiali 1 to 2
			Riutilizzo del 5% 1
			Riutilizzo del 10% 2
2			Credito 4 Contenuto di Riciclato 1 to 2
			10% di Contenuto 1
			20% di Contenuto 2
2			Credito 5 Materiali Estratti, Lavorati e Prodotti a Distanza Limitata (Materiali Regionali) 1 to 2
			10% dei Materiali 1
			20% dei Materiali 2
		1	Credito 6 Materiali Rapidamente Rinnovabili 1
1			Credito 7 Legno Certificato 1
<b>11</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>Qualità Ambientale Interna</b> Punti max: 15
Y			Prereq 1 Prestazioni Minime per la Qualità dell'Aria
Y			Prereq 2 Controllo Ambientale del Fumo di Tabacco
		1	Credito 1 Monitoraggio della Portata dell'Aria di Rinnovo 1
1			Credito 2 Incremento della Ventilazione 1

LEED 2009 Italia Nuove Costruzioni e Ristrutturazioni			
Lista di controllo dei crediti			
Progetto: Nuova Scuola a Casatenovo			
Data			
<b>11</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>Qualità Ambientale Interna</b> Punti max: 15
Y			Prereq 1 Prestazioni Minime per la Qualità dell'Aria
Y			Prereq 2 Controllo Ambientale del Fumo di Tabacco
		1	Credito 1 Monitoraggio della Portata dell'Aria di Rinnovo 1
1			Credito 2 Incremento della Ventilazione 1
		1	Credito 3.1 Piano di Gestione IAQ: Fase Costruttiva 1
1			Credito 3.2 Piano di Gestione IAQ: Prima dell'Occupazione 1
1			Credito 4.1 Materiali Basso Emissivi: Adesivi, Primers, Sigillanti, Materiali Cementizi e Finiture per Leg 1
1			Credito 4.2 Materiali Basso Emissivi: Pitture 1
1			Credito 4.3 Materiali Basso Emissivi: Pavimentazioni 1
1			Credito 4.4 Materiali Basso Emissivi: Prodotti in Legno Composito e Fibre Vegetali 1
1			Credito 5 Controllo delle Fonti Chimiche ed Inquinanti Indoor 1
1			Credito 6.1 Controllo e Gestione degli Impianti: Illuminazione 1
		1	Credito 6.2 Controllo e Gestione degli Impianti: Comfort Termico 1
1			Credito 7.1 Comfort Termico: Progettazione 1
1			Credito 7.2 Comfort Termico: Verifica 1
1			Credito 8.1 Luce Naturale e Visione: Luce Naturale per il 75% degli Spazi 1
1			Credito 8.2 Luce Naturale e Visione: Visuale Esterna per il 90% degli Spazi 1
<b>1</b>	<b>0</b>	<b>5</b>	<b>Innovazione e Processo di Progettazione</b> Punti max: 6
1			Credito 1.1 Innovazione nella Progettazione: Titolo Specifico 1
		1	Credito 1.2 Innovazione nella Progettazione: Titolo Specifico 1
		1	Credito 1.3 Innovazione nella Progettazione: Titolo Specifico 1
		1	Credito 1.4 Innovazione nella Progettazione: Titolo Specifico 1
		1	Credito 1.5 Innovazione nella Progettazione: Titolo Specifico 1
		1	Credito 2 Professionista Accreditato LEED (LEED AP) 1
<b>2</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>Priorità Regionale</b> Punti max: 4
1			Credito 1.1 Priorità Regionale: Credito Specifico 1
1			Credito 1.2 Priorità Regionale: Credito Specifico 1
		1	Credito 1.3 Priorità Regionale: Credito Specifico 1
		1	Credito 1.4 Priorità Regionale: Credito Specifico 1
<b>68</b>	<b>4</b>	<b>22</b>	<b>Totale</b> Punti max: 110
Certificato: 40-49 Punti; Argento: 50-59 Punti; Oro: 60-79 Punti; Platino: 80-110 Punti			

##### RIEPILOGO

Riassumendo tutte le analisi fatte precedentemente è possibile ottenere per la Scuola la certificazione **LEED GOLD** con un punteggio totale di **68 punti**.

In FIG. 7.3.19 è riportata la Check List nella quale sono riassunti tutti i prerequisiti e i crediti LEED ottenuti con il relativo punteggio.

### 7.3.9 Potenzialità e Criticità

I concetti chiave della sostenibilità sono stati posti alla base della progettazione sin dalla fase di concept; nonostante ciò, per ottenere un edificio realmente "sostenibile", si è reso necessario cogliere i punti di contatto e le sinergie tra i diversi ambiti della progettazione.

Abbiamo utilizzato il sistema di certificazione LEED come quadro di riferimento per identificare e mettere in atto pratiche progettuali e costruttive, che misurino la sostenibilità dell'intervento fin dalle prime fasi del progetto e portino ad un'ottimizzazione delle scelte.

È importante considerare non solo l'impatto che l'industria edilizia ha sul nostro pianeta per la salvaguardia delle risorse ambientali, ma anche l'impatto che la qualità edilizia ha sulle persone.

Pensiamo che i ragazzi trascorrono il 90% del loro tempo in ambienti chiusi e il 50% di questo tempo viene passato a scuola; per questo motivo, i principi della sostenibilità, come l'utilizzo della luce naturale, la qualità dell'aria negli ambienti interni, l'utilizzo di materiali atossici, con basso o nessun contenuto di COV (Composti Organici Volatili), creano ambienti più salutarie in grado di contribuire alla prevenzione di alcune patologie molto diffuse. È stato dimostrato, infatti, che migliorando la qualità percettiva dell'ambiente da parte dei fruitori, si registra da un lato, una riduzione di malattie respiratorie trasmissibili dall'altro, si riducono gli effetti di disagio psico-fisico.

Il nostro approccio alla progettazione della Scuola si è rivolto verso la minimizzazione dei fabbisogni di energia partendo dall'analisi di risorse locali, dall'analisi del sito e delle sue potenzialità, dalla definizione di un involucro edilizio adatto al luogo per forma, per orientamento e protezione solare; abbiamo quindi cercato di ridurre i consumi di energia con sistemi impiantistici integrati con l'involucro e ad alta efficienza ed abbiamo sfruttato le risorse rinnovabili, come i pannelli fotovoltaici, per ridurre ulteriormente il consumo di energia dell'edificio.

Per quanto riguarda il sito di progetto abbiamo cercato di privilegiare soluzioni che agevolino l'illuminazione naturale degli spazi e opportunità di sfruttamento passivo di sole, aria e acqua; si è cercato, inoltre, di ridurre attraverso la scelta di determinati materiali l'effetto isola di calore e si è ipotizzata una gestione del cantiere tale da poter ridurre i rifiuti normalmente prodotti da una costruzione.

Un significativo impatto ambientale nell'ecosistema è prodotto anche dall'estrazione, la produzione, il trasporto e l'installazione dei materiali per la costruzione del complesso immobiliare. Attraverso il sistema di rating LEED abbiamo scelto i materiali che riducessero maggiormente la produzione di rifiuti, che fossero riciclabili e a ridotto impatto ambientale.

Quello che non è stato possibile, trattandosi di un progetto di nuova costruzione, è il riutilizzo dei materiali di scarto, che sicuramente minimizza l'impatto ambientale causato dalla produzione e dalla circolazione di nuovi materiali da costruzione.

La scelta di seguire il protocollo LEED non è stata dettata solo dal fatto di voler ottenere un edificio GOLD, ma trova le sue principali ragioni nei vantaggi che un edificio certificato LEED può ottenere, quali ad esempio:

- risparmio nei consumi energetici nel lungo periodo
- riduzione degli sprechi nell'utilizzo delle risorse idriche
- migliore qualità dell'aria negli ambienti interni della scuola
- l'aumento della produttività delle persone che operano all'interno dell'edificio.

## 7.4 LA CERTIFICAZIONE ENERGETICA

L'attestato di certificazione energetica è un documento nel quale sono riportate tutte le informazioni su come è stato costruito un edificio sotto il profilo dell'isolamento termico e del consumo energetico. L'attestato viene redatto da un Soggetto Certificatore nel rispetto della normativa vigente ed è obbligatorio per tutti gli edifici pubblici o aperti al pubblico.

### 7.4.1 Normativa italiana

Le normative che seguono riguardano tutta l'attuale legislazione in vigore nell'ambito della progettazione termotecnica.

#### Norme nazionali:

- L. n. 10 del 9/1/1991: "Norme per l'attuazione del Piano energetico nazionale in materia di uso razionale dell'energia, di risparmio energetico e di sviluppi delle fonti rinnovabili di energia".
- D.P.R. n. 412 del 26/8/1993: "Regolamento recante norme per la progettazione, l'installazione, l'esercizio e la manutenzione degli impianti termici".
- D.P.R. n. 551 del 21/12/1999: "Aggiornamento del decreto di attuazione".
- D.M. 27/07/2005: "Regolamento di attuazione della Legge n. 10 del 9/1/1991".

- D.L. n. 192 del 19/08/2005: "Attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia".
- D.L. n. 311 del 19/08/2005: "Disposizioni correttive ed integrative al D.L. 192 del 19 agosto 2005".
- D.L. n. 115, del 30/05/2008: "Attuazione della direttiva 2006/32/CE relativa all'efficienza energetica degli usi finali di energia e i servizi energetici e abrogazione della direttiva 93/76/CEE".
- L. n. 296, del 27/12/06: "Disposizioni per la formazione del bilancio annuale e pluriennale dello Stato (Finanziaria 2007)".
- L. n. 244, del 24/12/07: "Disposizioni per la formazione del bilancio annuale e pluriennale dello Stato (Finanziaria 2008)".
- D.L. del 19/02/2007: "Disposizioni in materia di detrazioni per le spese di riqualificazione energetica del patrimonio edilizio esistente, ai sensi dell'articolo 1, comma 349, della legge 27 dicembre 2006, n. 296".
- D.L. del 11/03/2008: "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.M. del 04/07/2008: "Disposizioni in materia di detrazione per le spese di riqualificazione energetica del patrimonio

edilizio esistente, ai sensi dell'articolo 1, comma 349, della legge 27 dicembre 2006, n. 296".

- D.P.R. n.59 del 02/04/2009: "Regolamento di attuazione dell'articolo 4, comma 1, lettere a) e b), del decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192, concernente attuazione della direttiva 2002/91/CE sul rendimento energetico in edilizia".
- D.M. 26/06/2009: "Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici".
- D.L. n. 28 del 03/03/2011: "Attuazione della direttiva 2009/28/CE sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili, recante modifica e successiva abrogazione delle direttive 2001/77/CE e 2003/30/CE".
- D.L. n. 63 del 04/06/2013: "Disposizioni urgenti per il recepimento della Direttiva 2010/31/UE del Parlamento europeo e del Consiglio del 19 maggio 2010, sulla prestazione energetica nell'edilizia per la definizione delle procedure d'infrazione avviate dalla Commissione europea, nonché' altre disposizioni in materia di coesione sociale". D.L. convertito con modificazioni dalla L. n. 90 del 3/08/2013.

#### Norme relative alla regione Lombardia:

- D.G.R. del 26/06/2007 n° VIII/5018: "Determinazioni inerenti la certificazione energetica degli edifici, in attuazione del d.lgs. 192/2005 e degli articoli 9 e 25 della l.r. 24/2006".
- D.G.R. del 31/10/2007 n° VIII/5773: "Certificazione energetica degli edifici, modifiche ed integrazioni alla DGR n. 5018/2007".

- D.G.R. del 22/12/2008 n° VIII/8745: "Determinazioni in merito alle disposizioni per l'efficienza energetica in edilizia e per la certificazione energetica degli edifici".
- D.G.R. del 11/06/2009 n° 5796: "Aggiornamento della procedura di calcolo per la certificazione energetica degli edifici".
- DDG n.14006 del 15/12/2009: "Precisazioni in merito all'applicazione delle disposizioni vigenti in materia di certificazione energetica degli edifici e modifiche al DDG 5796 dell'11/06/2009".
- D.G.R. n. 3868 del 17/07/2015: "Disposizioni in merito alla disciplina per l'efficienza energetica degli edifici ed il relativo attestato di prestazione energetica a seguito dell'approvazione dei decreti ministeriali per l'attuazione del decreto legislativo 192/2005, come modificato con L.90/2013".
- Decreto n.6480 del 30/07/2015:"Disposizioni in merito alla disciplina per l'efficienza energetica degli edifici e per il relativo Attestato di Prestazione Energetica".

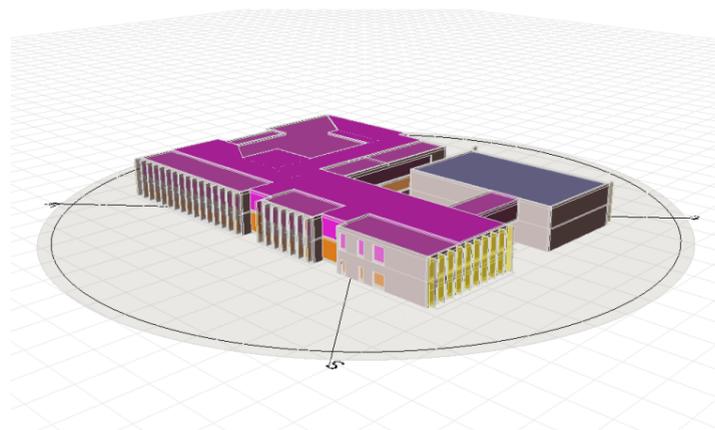
### 7.4.2 Attestato di prestazione energetica della Scuola

L'edificio oggetto di studio è stato modellato all'interno del software *Termolog* in modo da poter ottenere la classe energetica di riferimento.

All'interno del software sono state create tutte le stratigrafie

dell'involucro edilizio e gli infissi utili, insieme all'ubicazione e l'esposizione dell'edificio, al calcolo del fabbisogno energetico dello stesso. Il programma calcola in seguito i carichi di progetto e le prestazioni energetiche attraverso le UNI TS 11300 e la UNI 12831.

FIG. 7.4.1  
Visualizzazione del modello analitico in 3D



La prestazione energetica dell'edificio è quantificata da due indici, l'indice di energia primaria globale non rinnovabile e l'indice di energia primaria globale totale, entrambi espressi in kilowattora su metro quando in un anno:

$$EP_{gl,nren} = E_{p,gl,nren} / A$$

dove:

- $EP_{gl,nren}$  è l'indice di energia primaria non rinnovabile dell'edificio, [kWh/m2 anno];
- $E_{p,gl,nren}$  è il fabbisogno annuale globale di energia primaria non rinnovabile dell'edificio, [kWh];

- A è l'area della superficie utile dell'edificio [m2]

$$EP_{gl,tot} = E_{p,gl,tot} / A$$

dove:

- $EP_{gl,tot}$  è l'indice di energia primaria totale dell'edificio, [kWh/m2 anno];
- $E_{p,gl,tot}$  è il fabbisogno annuale globale di energia primaria totale dell'edificio, [kWh];

La prestazione energetica del singolo servizio S dell'edificio è anch'essa quantificata dall'indice di energia primaria non rinnovabile e dall'indice di energia primaria globale totale, sempre espressi in kilowattora su metro quadro in un anno:

$$EP_{S,nren} = E_{p,S,nren} / A$$

dove:

$EP_{S,nren}$  è l'indice di energia primaria non rinnovabile per il servizio S dell'edificio, [kWh/m2 anno];

$E_{p,S,nren}$  è il fabbisogno annuale globale di energia primaria non rinnovabile per il servizio S dell'edificio, [kWh].

$$EP_{S,tot} = E_{p,S,tot} / A$$

dove:

$EP_{S,tot}$  è l'indice di energia primaria totale per il servizio S dell'edificio, [kWh/m2 anno];

$E_{p,S,tot}$  è il fabbisogno annuale globale di energia primaria totale per il servizio S dell'edificio, [kWh].

I servizi presi in considerazione e per i quali si calcolano gli indici energetici sono:

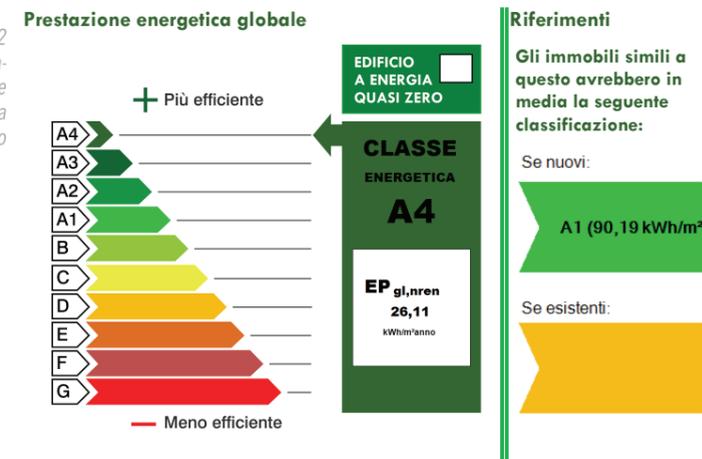
- riscaldamento: S=H
- raffrescamento: S=C

- climatizzazione invernale: S=HA
- climatizzazione estiva: S=CA
- acqua calda sanitaria: S=W
- ventilazione: S=V
- illuminazione generale: S=L
- trasporto di persone o cose S=T

Dalla determinazione dei valori citati il software emette un dato sintetico che è la classe energetica con dei valori compresi tra A4 che è la classe più performante e G che è la peggiore e maggiormente disperdente.

La classe energetica per il consumo di energia primaria della scuola risulta essere A4, con un indice di prestazione energetica globale non rinnovabile pari a 23,11 kWh/m<sup>2</sup>anno.

FIG. 7.4.2  
APE con indicazione della classe energetica riferita al nostro edificio





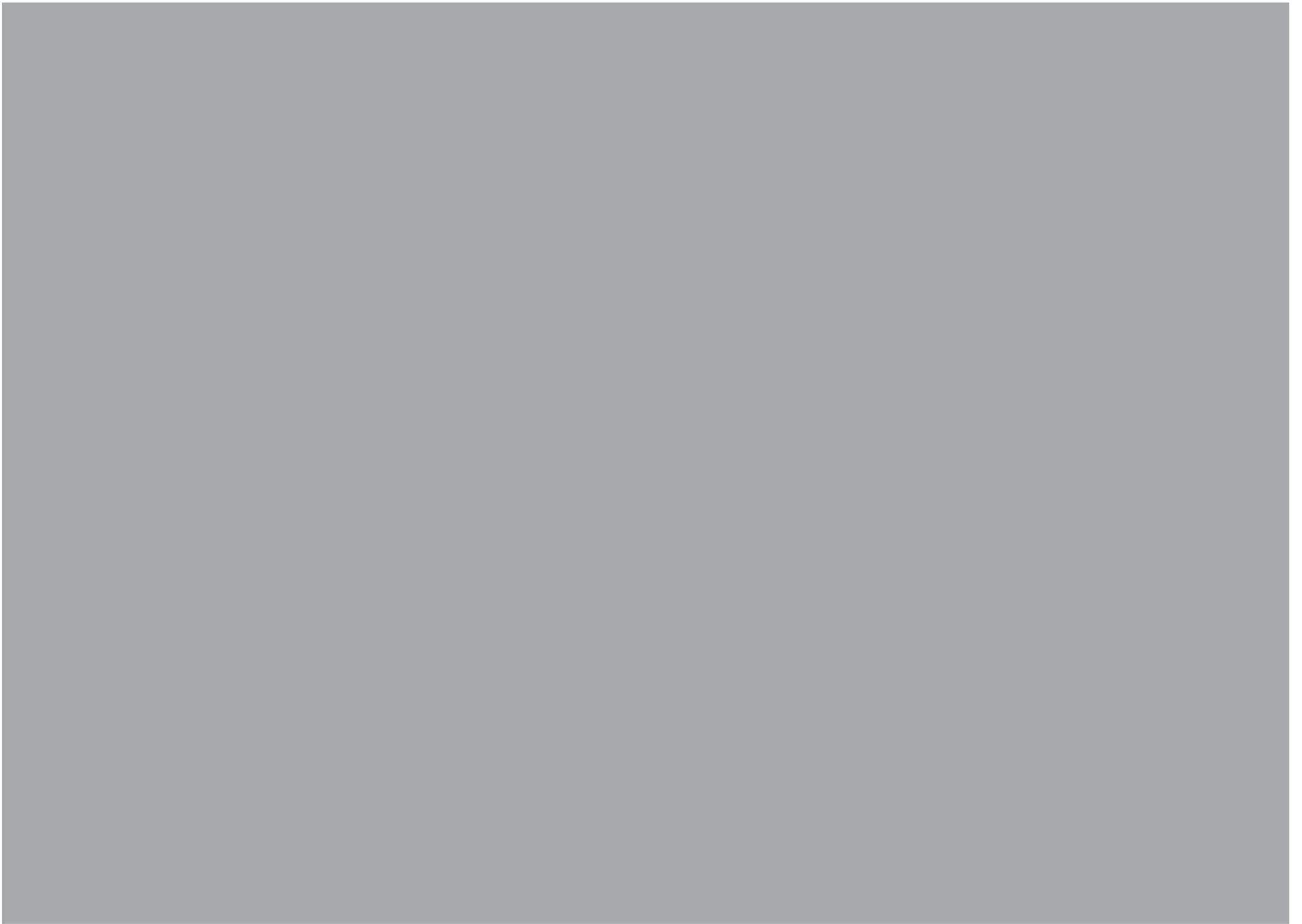
CONCLUSIONI

*Il progetto risulta essere la conclusione di un percorso di studi che ci ha permesso di affrontare l'attuale tema dell'edilizia scolastica con un approccio multidisciplinare.*

*Lo sviluppo del processo ha trattato complessivamente i diversi ambiti architettonici ed ingegneristici sviluppati negli anni e concretizzati qui nel loro insieme. La sensibilità verso la cultura della funzionalità e le conoscenze tecniche, ci hanno consentito di adottare in ogni momento delle scelte consapevoli sotto tutti i punti di vista per il raggiungimento ed il soddisfacimento degli obiettivi prefissati.*

*Il processo è stato svolto in modo da mantenere inalterate le considerazioni teoriche iniziali che sono state per noi fondamentali per la comprensione e lo sviluppo del tema. Attraverso queste importanti fasi iniziali abbiamo raggiunto la consapevolezza che la scuola oggi non deve essere un luogo per il solo apprendimento ma uno spazio per tutti.*

*L'esercizio di concretizzare dei concetti sociali in una forma definita e funzionale ha rimarcato il valore del ruolo del progettista. Con il raggiungimento dei target qualitativi in termini strutturali ed energetici ci riteniamo soddisfatti di questo percorso che qui si chiude rappresentando per noi il vero inizio.*





## BIBLIOGRAFIA

ANIT, *Linee guida per la progettazione con i protocolli di sostenibilità LEED e Itaca*, in "Sostenibilità ANIT", 2012.

Bertolini L., *Materiali da costruzione Volume I: struttura, proprietà e tecnologia di produzione*, Torino, Città studi, 2006.

Bertolini L., *Materiali da costruzione Volume II: degrado, prevenzione, diagnosi, restauro*, Torino, Città studi, 2006.

Butera F., *Architettura e ambiente : manuale per il controllo della qualità termica, luminosa e acustica degli edifici*, ETAS libri, 1995.

C. Buratti, *Impianti di Climatizzazione e Condizionamento*, Morlacchi Editore, 2015.

Caironi M., Bonera L., *Il legno lamellare: il calcolo*, Brescia, Habitat Legno, 1999.

Caironi M., Bonera L., *Il legno lamellare: il calcolo 2 DIN1052-EC5. Progetto e calcolo di strutture in legno lamellare*, Brescia, Habitat Legno, 1999.

*Conferenza delle regioni e delle province autonome 14/044/CR9b/C9*, Documento in materia di anagrafe dell'edilizia scolastica, Roma, 10 aprile 2014.

E. Corbi, *Scuola e politiche educative in Italia dall'unità a oggi*, Liguori, Napoli, 2003.

E. Zanchini, M.A. Vitelli, G. Nanni, *100 Materiali per una nuova edilizia, Rapporto dell'Osservatorio Recycle Legambiente*, 2016.

Fedrizzi R., Morri G., Pavesi A.S., Soffietti F., Verani E., *Uno strumento per la creazione di valore nella realizzazione di edifici sostenibili:*

la certificazione LEED, Agenzia delle entrate, 2010.

Frascarolo M., *Manuale di progettazione: illuminotecnica*, Mancosu, 2010.

G. Ponti, *La scuola intelligente dall'edilizia scolastica all'architettura educativa*, Grafill, 2014.

Giordano G., *Tecnica delle Costruzioni in legno: Caratteristiche, qualificazione e normazione dei legnami da costruzione. Progettazione e controllo delle strutture lignee tradizionali. Applicazione dei moderni metodi di calcolo alle nuove tipologie costruttive. Classi di resistenza dei legnami strutturali, secondo la normativa europea*, Milano, Ulrico Hoepli Editore, 1999.

Green Building Council Italia, *Guida alla redazione per il Piano per il controllo dell'erosione e della sedimentazione*, Rovereto, 2009.

Green Building Council Italia, *Guida Piano di Gestione dei Rifiuti da Costruzione LEED 2009 NC Ita*, Rovereto, 2012.

Green Building Council Italia, *Manuale LEED Italia Nuove Costruzioni e Ristrutturazioni*, Verona, 2009.

H. Herzberger, *Spazi a misura d'uomo*, P.Fiorentini, 2012.

Haselbach L., *The engineering guide to LEED-new construction : sustainable construction for engineers*, MCGraw-Hill, 2008.

ICMQ, *Certificare la sostenibilità in edilizia: dal progetto al cantiere, dal progetto all'edificio*, in "I supplementi del sole 24 ore: ambiente e sicurezza", n° 1, 2011.

L.Paolino, M.Cagelli, A.S.Pavesi, *Guida alla progettazione degli edifici scolastici*, Maggiolo Editore, Ravenna, 2011.

L. Stefanutti, *Impianti di climatizzazione - progettare per l'architettura*, Tecniche Nuove, 2011.

Laner F., *Il legno lamellare: il progetto*, Brescia, Habitat Legno, 1994.

M. Doninelli, *Gli impianti a pannelli radianti*, Quaderni Caleffi.

M. Giussani, M. Giustra e G. Zanardi, *MEET - Progetto di un centro culturale multifunzionale sostenibile*, Politecnico di Milano, relatore Prof. Marco Imperadori, a.a. 2014/2015.

M. Imperadori, E. Zambelli, G. Masera, G. Iannacone, S. Ronchi, S. Fattore, M. Carlini, E. Mumelter, R. Francieri, F. Cassaro e E. Perenzoni, *La progettazione con tecnologia stratificata a secco: realizzazioni innovative, linee guida e prodotti per una meccanica dell'architettura sostenibile*, Il Sole 24 Ore, 2006.

Miur, *Linee guida per le architetture interne degli edifici scolastici*, su iniziativa del Ministro Francesco Profumo, 2013.

N. Mirchandani, S. Wright, *Future schools : innovative design for existing and new buildings*, RIBA Publishing, 2015

P. Moss, C. Rinaldi, *"Perché a Reggio?"*, su 'Bambini in Europa' febbraio 2004, Edizioni Junior.

Pavesi S., Verani E., *Introduzione alla certificazione LEED®: progetto, costruzione, gestione: ottimizzazione del processo edilizio secondo i principi della sostenibilità*, Maggioli, 2012.

Piazza M., Tomasi R., Modena R., *Strutture in legno: Materiale, calcolo e progetto secondo le nuove normative europee*, Hoepli, 2005.

R. T. Hille, *Modern schools: a century of design for education*, 2011.

Zumtobel Lighting GmbH, *Manuale illuminotecnico pratico*, 2013.

DPR 59/09 - Requisiti sull'efficienza energetica degli edifici.

UNI EN ISO 13788 - Prestazione igrotermica dei componenti e degli elementi per edilizia - Temperatura superficiale interna per evitare l'umidità superficiale critica e la condensazione interstiziale - Metodi di calcolo.

UNI EN 1264 - Norme tecniche per il riscaldamento a pavimento.

D.M. 14/01/2008 - Ministero delle Infrastrutture - Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni (Gazzetta ufficiale 04/02/2008 n. 29).

D.M. 06/05/2008 - Ministero delle Infrastrutture - Integrazione al decreto 14 gennaio 2008 di approvazione delle nuove "Norme tecniche per le costruzioni" (Gazzetta ufficiale 02/07/2008 n. 153).

Circolare n. 617 del 02/04/2011 del Ministero degli Interni - Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008.

UNI EN 1995-1-1:2009 Eurocodice 5 - Progettazione delle strutture di legno. Parte 1-1: Regole generali - Regole comuni e regole per gli edifici.

UNI EN 1995-1-2:2009 Eurocodice 5 - Progettazione delle strutture di legno. Parte 1-2: Regole generali - Progettazione strutturale contro l'incendio.

CNR-DT 207/2008 "Istruzioni per la valutazione delle azioni e degli effetti del vento sulle costruzioni".

UNI/TS 11300-Parte 1, Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale.

UNI/TS 11300-Parte 2, Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale e per la

produzione di acqua calda sanitaria.

UNI/TS 11300-Parte 3, Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione estiva.

UNI/TS 11300 -Parte 4, Utilizzo di energie rinnovabili e di altri metodi di generazione per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria.

www.indire.it  
 www.scuoleinnovative.it  
 www.reggiochildren.it  
 www.reggiochildrenfoundation.org  
 www.istruzione.it  
 www.istat.it  
 www.governo.it  
 www.divisare.com  
 www.calcolodellastrasmittanza.com  
 www.pontarolo.com  
 www.rothoblaas.com  
 www.promolegno.com  
 www.caleffi.com  
 www.expoclima.com  
 www.bipv.ch  
 www.gbci.org  
 www.usgbc.org  
 www.gbci.org





# INDICE DELLE FIGURE

<i>Crediti macroarea Innovazione nella Progettazione</i>	295	FIG. 2.1.10 Asilo comunale di Cascina Levada	23	FIG. 2.1.16 Villa Lurani Cernuschi	21	FIG. 2.1.27 Confronto tra i depositi medi bancari dei cittadini di Casatenovo a diverse scale	33
FIG. 2.1.1 Stemma del Comune di Casatenovo	7	FIG. 2.1.11 Asilo nido aziendale Pupa - Piri Piri	24	FIG. 2.1.17 Cascina Rancate	21	FIG. 2.1.28 Tipico paesaggio Casatese - strada di campagna per C.na de Bracchi	34
FIG. 2.1.2 Casatenovo inquadramento territoriale	8	FIG. 2.1.11 Chiesa di Santa Giustina	18	FIG. 2.1.17 Scuola secondaria M.G. Agnesi	27	FIG. 2.1.29 Sistema del verde nel Comune di Casatenovo	35
FIG. 2.1.3 Casatenovo nel territorio della Provincia di Lecco	9	FIG. 2.1.12 Affreschi cinquecenteschi all'interno della chiesa di Santa Giustina	19	FIG. 2.1.18 Istituto professionale di stato G. Fumagalli	27	FIG. 2.1.30 Segnaletica per i sentieri storici di Casatenovo	36
FIG. 2.1.4 Villa Quattro Valli	10	FIG. 2.1.12 Scuola dell'infanzia S.S: Angeli di Rogoredo	24	FIG. 2.1.19 Campo di calcio di Piazza Repubblica	28	FIG. 2.1.31 Verde pubblico e mappatura dei sentieri storici di Casatenovo	37
FIG. 2.1.5 Piazza comunale	11	FIG. 2.1.13 Scuola dell'infanzia S. Giuseppe Campo fiorenzo	24	FIG. 2.1.20 Centro sportivo tra Rogoredo e C.na de Bracchi	29	FIG. 2.1.32 Mappa della pericolosità sismica in Italia	38
FIG. 2.1.6 Dintorni della Chiesa	11	FIG. 2.1.13 Villa Lattuada	19	FIG. 2.1.21 Ingresso della biblioteca comunale presso Villa Facchi	29	FIG. 2.1.33 Storia climatica degli ultimi trent'anni	40
FIG. 2.1.7 Lo stabilimento Vismara negli anni	13	FIG. 2.1.14 Scuola primaria C.na Crotta	25	FIG. 2.1.22 Auditorium comunale presso Villa d'Adda Mariani	30	FIG. 2.1.34 Diagrammi solari - inclinazioni e altezze stagionali	43
FIG. 2.1.8 Prime planimetrie dello stabilimento Vismara, mappa catastrale datata 1930 ca.	14	FIG. 2.1.14 Villa d'Adda Mariani	20	FIG. 2.1.23 Andamento demografico della popolazione di Casatenovo 1973-2010	31	FIG. 2.1.34 I dati climatici oggi	41
FIG. 2.1.9 Edifici scolastici, centri culturali e centri sportivi, sul territorio comunale	22	FIG. 2.1.15 Scuola primaria C.na Grassi	26	FIG. 2.1.24 Popolazione straniera nel Comune di Casatenovo	31	FIG. 2.1.35 Diagrammi solari - percorsi solari stagionali	43
FIG. 2.1.9 Sistema della mobilità e inquadramento di Casatenovo	16	FIG. 2.1.15 Villa Casati-Greppi	20	FIG. 2.1.25 Percentuale dell'età della popolazione di Casatenovo	32	FIG. 2.2.1 Inquadramento dell'area di progetto.	44
		FIG. 2.1.16 Scuola primaria C.na Bracchi	26	FIG. 2.1.26 Grafico dell'età della popolazione di Casatenovo	32	FIG. 2.2.1 L'area di progetto tra Casatenovo Centro e Galgiana fraz.	44

FIG. 2.2.2 Inquadramento catastale dell'area di progetto.	45	FIG. 2.2.15 Dettaglio dei primi abeti a confine del lotto	52	FIG. 2.2.28 Vista in direzione Sud con campi coltivati e serre	55	FIG. 3.2.3 USA - scuola montessoriana	67
FIG. 2.2.3 Vista satellitare dell'area in oggetto	45	FIG. 2.2.16 Percorso pedonale di Via S. Giacomo in direzione Nord	52	FIG. 2.2.29 Dettaglio della linea di confine a Sud del lotto	55	FIG. 3.2.4 Germania - scuola steineriana	67
FIG. 2.2.4 Utenza aperta	47	FIG. 2.2.17 Prosecuzione di Via S. Giacomo, direzione Sud	52	FIG. 2.2.30 Vista d'insieme del lotto in Direzione Nord	56	FIG. 3.2.5 Scuola-civic center 4HET GYMNASIUM Amsterdam	68
FIG. 2.2.5 Criteri di progettazione innovativi	47	FIG. 2.2.18 Ingresso dell'attuale Scuola Secondaria di I grado "M. G. Agnesi"	53	FIG. 2.2.31 Vista in direzione Sud-Ovest con campi coltivati	56	FIG. 3.2.6 4HET GYMNASIUM Amsterdam - spazi per la comunità	68
FIG. 2.2.6 Attrezzature sportive aperte a tutti	47	FIG. 2.2.19 Targa e dettaglio del prospetto dell'Istituto	53	FIG. 2.2.32 Dettaglio delle coltivazioni seccagne presenti a Sud	56	FIG. 3.2.7 Schema funzionale di scuola a corridoio	69
FIG. 2.2.7 Caratteristiche elevate di efficienza e comfort	47	FIG. 2.2.20 Spazio ricreativo all'aperto "M. G. Agnesi"	53	FIG. 2.2.33 Vista in direzione Sud sulla piana di Rogoredo	56	FIG. 3.2.8 Schema funzionale di scuola a unità funzionali	70
FIG. 2.2.8 Rete ecologica regionale instente sull'area di progetto	49	FIG. 2.2.21 Prospetto Sud della Scuola Secondaria di I grado "M. G. Agnesi"	53	FIG. 3.1.1 Il percorso scolastico in Italia	59	FIG. 3.2.9 Schema funzionale di scuola a blocchi	70
FIG. 2.2.9 Rilievo fotografico: coni ottici	50	FIG. 2.2.22 Vista in direzione Nord-Est dell'area di progetto	54	FIG. 3.1.2 Sulla spesa pubblica per l'istruzione in rapporto al PIL - OCSE 2016	60	FIG. 3.2.9 Schema funzionale di scuola all'aperto	71
FIG. 2.2.10 Accesso da Via San Giacomo, direzione Nord	51	FIG. 2.2.23 Vista in direzione Sud-Est dell'area di progetto	54	FIG. 3.1.3 Organizzazione della scuola pre-primaria in Europa - 2016/2017	62	FIG. 3.2.10 Schema funzionale di scuola all'aperto	71
FIG. 2.2.11 Accesso da Via San Giacomo, direzione Sud	51	FIG. 2.2.24 Dettaglio di Villa signorile prominente il lato Nord-Est	54	FIG. 3.1.4 Organizzazione della scuola dell'obbligo in Europa - 2016-2017	62	FIG. 3.2.11 Schema funzionale di scuola open plan	72
FIG. 2.2.12 Vista in direzione Sud dell'area di progetto	51	FIG. 2.2.25 Vista in direzione Sud-Ovest e insediamento abusivo	54	FIG. 3.1.5 Tempi dedicati ai vari insegnamenti - OCSE 2016	63	FIG. 3.2.12 Schema funzionale di scuola strada	72
FIG. 2.2.13 Percorso pedonale di Via San Giacomo in direzione Sud	51	FIG. 2.2.26 Vista in direzione Nord verso l'Istituto "M. G. Agnesi"	55	FIG. 3.2.1 Italia - classe di regime fascista 1938	66	FIG. 3.2.13 Confronto tra un'aula di ieri e un'aula oggi	73
FIG. 2.2.14 Filare di alberi su Via San Giacomo	52	FIG. 2.2.27 Dettaglio della viletta adiacente il lotto in direzione Sud-Ovest	55	FIG. 3.2.2 Inghilterra - "learning by doing" 1920	66	FIG. 3.2.14 Manifesto 1+4 SPAZI EDUCATIVI	74

FIG. 3.2.15 La classe, unità polifunzionale per il lavoro di gruppo	74	FIG. 3.3.4 Gli interni - Orestad Gymnasium, CPH	81	FIG. 4.1.3 Nuova area verde	94	FIG. 4.3.23 Esempi di configurazioni possibili del layout	133
FIG. 3.2.16 I laboratori, spazi di esplorazione	75	FIG. 3.3.5 I 5 spazi di Rosan Bosh - Vittra, Stoccolma	82	FIG. 4.1.4 Esempio classe	95	FIG. 4.4.1 Layout: accessi alle differenti funzioni	100
FIG. 3.2.17 L'agorà, uno spazio per l'esposizione e il confronto	75	FIG. 3.3.6 Pianta piano terra - Vittra, Stoccolma	82	FIG. 4.1.5 Ørestad Public Library, Danimarca	95	FIG. 4.4.2 Schemi: intervisibilità e flussi	101
FIG. 3.2.18 Lo spazio per il lavoro individuale	75	FIG. 3.3.7 Pianta piano primo - Vittra, Stoccolma	82	FIG. 4.1.6 Palestra 4het Gymnasium, Paesi Bassi	95	FIG. 4.4.3 ayout funzionale	101
FIG. 3.2.19 Lo spazio informale di riposo	76	FIG. 3.3.8 Alcime viste dell'interno - Vittra, Stoccolma	83	FIG. 4.3.14 Rapporti tra gli spazi dell'edificio, la zona ristoro e il centro cottura	126	FIG. 4.4.3 Biblioteca e ingresso	110
FIG. 3.2.20 Scala/palestra/auditorium dell'Orestad Gymnasium di Copenhagen	77	FIG. 3.3.9 Pianta del piano primo - 4het Gymnasium, ADAM	83	FIG. 4.3.15 Il centro cottura	127	FIG. 4.4.4 Ingresso e prospetto Sud-Ovest	111
FIG. 3.2.21 Alcuni supporti informatici di un'aula tecnologica	77	FIG. 3.3.10 Vista del fronte strada - 4het Gymnasium, ADAM	84	FIG. 4.3.16 Aree esterne, vetrate e doppie altezze	128	FIG. 4.4.5 Prospetto aula	112
FIG. 3.2.22 Sandal magna community primary school, Wakefield, UK	78	FIG. 3.3.11 Vista della corte interna - 4het Gymnasium, ADAM	84	FIG. 4.3.17 Rapporto interno-esterno	129	FIG. 4.4.6 Prospetto Sud-Ovest	113
FIG. 3.2.23 Colori primi e secondari	79	FIG. 3.3.12 Piante - Scuola di Ponzano Veneto	84	FIG. 4.3.18 Pianta delle coperture	130	FIG. 4.4.7 Palestra	114
FIG. 3.2.24 L'azzurro come colore per la meditazione e la tranquillità	79	FIG. 3.3.13 Apertura verso la comunità - Scuola di Ponzano Veneto	85	FIG. 4.3.19 Visuale dalla copertura verso la piana di Rogoredo	130	FIG. 4.4.8 Prospetto Nord-Est, palestra e biblioteca	115
FIG. 3.3.1 L'Orestad Gymnasium, CPH	80	FIG. 3.3.14 Vista della corte interna - Scuola di Ponzano Veneto	85	FIG. 4.3.20 Schizzo del modello innovativo di scuola secondo Renzo Piano	131	FIG. 4.4.9 Patio interno e ponte - laboratorio	116
FIG. 3.3.2 Piante - Orestad Gymnasium, CPH	81	FIG. 4.1.1 Posizione policentrica dell'area di progetto	92	FIG. 4.3.21 Schema architettonico modulare	131	FIG. 4.4.10 Gradonata	117
FIG. 3.3.3 Vista della promenade centrale - Orestad Gymnasium, CPH	81	FIG. 4.1.2 Rapporto con il contesto	93	FIG. 4.3.22 Sviluppo orario del layout	132	FIG. 4.6.1 Scuola femminile Furgoslie Works, Paisley, Scozia, 1886	118

FIG. 4.6.2 Atrio di ingresso del complesso scolastico integrato, Roma Herman Hertzberger	118	FIG. 5.1.2 Processo di fotosintesi	137	FIG. 5.2.4 Composizione a pacchetto degli strati di lamelle	145	FIG. 5.3.1 Scenario post incendio, una trave in legno sorregge gli elementi fusi in acciaio	156
FIG. 4.6.3 "Piazza interna" Piano terra	119	FIG. 5.1.3 Sezione di un tronco	137	FIG. 5.2.5 Ottimizzazione dei difetti del legno massiccio nella la sua ricomposizione	145	FIG. 5.3.2 Classi di resistenza per unioni non protette	159
FIG. 4.6.4 "Piazza interna" Piano primo	119	FIG. 5.1.4 Fibre legnose a microscopio	138	FIG. 5.2.6 I passaggi del processo di produzione del legno lamellare	146	FIG. 5.3.2 Sezione di una trave in legno post incendio	157
FIG. 4.6.5 Layout spazio per la didattica	121	FIG. 5.1.5 Particolare anatomico della fibra legnosa	138	FIG. 5.2.7 Spessore normato della lamella EN386	147	FIG. 5.3.2 Sezione trasversale, residua ed efficace	157
FIG. 4.6.6 Stralcio di pianta sullo spazio didattico	121	FIG. 5.1.6 Organizzazione e struttura delle fibre del legno	138	FIG. 5.2.8 Particolare del giunto di testa a pettine	147	FIG. 5.3.3 Effetto smusso a causa dell'esposizione al fuoco dell'elemento ligneo	158
FIG. 4.6.7 Sezione sullo spazio didattico	121	FIG. 5.1.7 Legame tra resistenza a compressione, densità e umidità	140	FIG. 5.2.9 Fresatura della tavola	148	FIG. 5.4.1 Carichi permanenti e variabili	160
FIG. 4.6.8 Prospetto biblioteca	122	FIG. 5.1.9 Rapporto modulo elastico/densità nel legno	141	FIG. 5.2.10 Fresatura della tavola	148	FIG. 5.4.2 Sezione longitudinale della scuola	160
FIG. 4.6.9 Stralcio di pianta sulla biblioteca	122	FIG. 5.1.10 Effetti del degrado biologico	141	FIG. 5.2.11 Schema di un dispositivo di serraggio del pacco di lamelle	148	FIG. 5.4.3 Abaco C.O.03	161
FIG. 4.6.10 Sezione sulla palestra	123	FIG. 5.1.11 Trasformazione della CO <sup>2</sup> nel ciclo di vita delle piante	142	FIG. 5.2.12 Impiego di travi-pilastri al Piano Terra	149	FIG. 5.4.4 Abaco C.O.04	161
FIG. 4.6.11 Prospetto palestra	123	FIG. 5.1.13 Distribuzione del patrimonio forestale nel mondo ed in Europa	143	FIG. 5.2.13 La capanna primitiva di Laugier 1753	149	FIG. 5.4.5 Abaco C.O.05	162
FIG. 4.6.12 Stralcio di pianta sulla palestra	123	FIG. 5.2.1 Ing. Miozzi, 1932, Ponte sul Rio Novo a Venezia	144	FIG. 5.2.14 Impiego di tecnologia XLAM al Piano Terra	150	FIG. 5.4.6 Abaco C.O.06	162
FIG. 4.6.13 Layout piano primo	124	FIG. 5.2.2 Cronologia dello sviluppo di sistemi composti in legno	144	FIG. 5.2.15 Elemento XLAM con effetto piastra e lastra controventante	150	FIG. 5.4.7 Abaco P.O.08	163
FIG. 5.1.1 Foresta di conifere finlandese	137	FIG. 5.2.3 Legno massiccio e legno lamellare a confronto	145	FIG. 5.2.16 Funzione di densità di probabilità per le resistenze e valori caratteristici	151	FIG. 5.4.8 Abaco P.V.03	163

FIG. 5.4.9 Distribuzione della neve sulla copertura di progetto	165	FIG. 5.4.22 Lunghezza di libera inflessione per un'asta soggetta a carico di punta	175	FIG. 5.4.33 Vista trasversale della palestra	180	FIG. 6.1.4 Prospetto	205
FIG. 5.4.10 Valori di Ce(z) per la varie categorie di esposizione del sito (NTC-D08)	166	FIG. 5.4.22 Schema di carico agente sulla trave primaria	173	FIG. 5.4.34 Schema di trave in semplice appoggio	180	FIG. 6.1.5 Sezione orizzontale	205
FIG. 5.4.11 Valori del coefficiente di forma	166	FIG. 5.4.23 Pilastro P11h	174	FIG. 5.4.35 Schema di deformazione e relativi valori NTC 2008	185	FIG. 6.2.1 riscaldamento radiante	210
FIG. 5.4.12 Pressione del vento al variare della quota z(m)	167	FIG. 5.4.23 Schema di funzionamento P11H	175	FIG. 5.4.36 Schema di carico verticale e orizzontale sul portale longitudinale	185	FIG. 6.2.2 Ventilazione meccanizzata	210
FIG. 5.4.13 Fase 1: Individuazione della pericolosità del sito	167	FIG. 5.4.24 Rispetto della continuità flessionale	175	FIG. 5.4.37 Rappresentazione della deformata qualitativa	185	FIG. 6.2.3 Pompa di calore geotermica	210
FIG. 5.4.14 Fase 2: scelta della strategia di progettazione	168	FIG. 5.4.25 Fase di montaggio della staffa a scomparsa	176	FIG. 5.4.38 Nodo rigido trave-pilastro portale	186	FIG. 6.2.4 Impiantofotovoltaico	210
FIG. 5.4.15 Spettri di risposta elastici per ciascuno Stato Limite	168	FIG. 5.4.26 Caratteristiche geometriche della staffa in alluminio	176	FIG. 5.4.39 Schema di controvento di progetto a croce di S. Andrea	188	FIG. 6.2.8 Dettaglio stratigrafia con riscaldamento radiante	212
FIG. 5.4.16 Fase 3: determinazione dell'azione di progetto	168	FIG. 5.4.27 Schema di carico sulla lastra XLAM	178	FIG. 5.4.40 Dimensioni dell'elemento di connessione controvento pilastro	190	FIG. 6.3.1 Benessere dovuto all'utilizzo di luce naturale	221
FIG. 5.4.17 Pianta strutturale del primo impalcato	169	FIG. 5.4.28 Giunzione delle lastre mediante viti incollate	178	FIG. 5.4.40 Posizionamento del baricentro delle masse G	188	FIG. 6.3.2 Luce solare diretta e diffusa	221
FIG. 5.4.18 Pianta strutturale delle coperture	169	FIG. 5.4.29 Connessione hold-down legno-cemento e doppio hold-down legno-legno	178	FIG. 5.4.41 Sezione trasversale, residua ed efficace	191	FIG. 6.3.3 Latitudine	222
FIG. 5.4.19 Trave in legno lamellare	169	FIG. 5.4.30 Giunto angolare legno-cemento e legno-legno	179	FIG. 6.1.1 Comfort abitativo	197	FIG. 6.3.4 Diversi orientamenti	222
FIG. 5.4.20 Dettaglio del nodo trave-pilastro	169	FIG. 5.4.31 Vista longitudinale del singolo elemento a portale	180	FIG. 6.1.2 Diagramma di Glaser	198	FIG. 6.3.5 Illuminanza	222
FIG. 5.4.21 Schema di trave in semplice appoggio	170	FIG. 5.4.32 Pianta strutturale della palestra	180	FIG. 6.1.3 Sezione verticale	204	FIG. 6.3.6 Luminanza	222
						FIG. 6.3.7 Fenomeno dell'abbagliamento	222

FIG 6.3.8 FLD	223	FIG 6.3.21 Abbagliamento Marzo con cielo parzialmente coperto	228	FIG 6.4.18 Schematic design stagioni intermedie	217	FIG 7.2.6 Categorie di merito	239
FIG 6.3.9 Aule esaminate attraverso l'utilizzo del software	224	FIG 6.4.5 Confronto impianto a radiatori e a pannelli radianti	210	FIG 6.4.19 Schema di recupero delle acque piovane	218	FIG 7.2.7 Macroaree LEED	241
FIG 6.3.10 Abbagliamento Dicembre	225	FIG 6.4.6 Curve ideali per il benessere termico invernale	210	FIG 7.1.1 Ambiti all'interno dei quali è definito il concetto di sostenibilità	234	FIG 7.3.1 Recinzione cantiere	244
FIG 6.3.11 Abbagliamento Marzo con cielo coperto	225	FIG 6.4.7 Schematic design stagione invernale	211	FIG 7.1.2 Piramide della sostenibilità	234	FIG 7.3.2 Sistema di lavaggio delle ruote dei mezzi	244
FIG 6.3.12 Abbagliamento Marzo con cielo parzialmente coperto	225	FIG 6.4.9 Schema pannello radiante, ingresso e uscita acqua calda	212	FIG 7.1.3 Ecostenibilità edilizia "dalla culla alla tomba"	235	FIG 7.3.3 Calditoia protetta da tessuto geotessile	244
FIG 6.3.13 Abbagliamento Dicembre	226	FIG 6.4.10 Tempi di entrata in regime dei pannelli radianti	212	FIG 7.1.4 Hearst Tower, Foster and partners, Manhattan.	235	FIG 7.3.4 Sistema di abbattimento polveri	245
FIG 6.3.14 Abbagliamento Marzo con cielo coperto	226	FIG 6.4.11 UTA: Unità di Trattamento dell'Aria, flussi	213	FIG 7.1.5 Logo LEED	235	FIG 7.3.5 Sistema di gestione dei rifiuti	245
FIG 6.3.15 Abbagliamento Marzo con cielo parzialmente coperto	226	FIG 6.4.12 UTA, fotografia	213	FIG 7.1.6 Gli edifici "green" possono ridurre...	236	FIG 7.3.6 Zona di stoccaggio protetta da teli	245
FIG 6.3.16 Abbagliamento Dicembre	227	FIG 6.4.13 Schematic design stagione estive	214	FIG 7.2.1 Differenza tra le certificazio	237	FIG 7.3.7 Foto aerea dell'area di progetto.	246
FIG 6.3.17 Abbagliamento Marzo con cielo coperto	227	FIG 6.4.14 Recuperatore di calore entalpico rotativo	215	FIG 7.2.1 Green Building	237	FIG 7.3.8 Raggio di 800 m dall'ingresso della scuola in progetto.	248
FIG 6.3.18 Abbagliamento Marzo con cielo parzialmente coperto	227	FIG 6.4.15 Funzionamento della pompa di calore	215	FIG 7.2.3 Logo GBC Italia	238	FIG 7.3.9 Distanza percorribile a piedi dalla fermata del Bus	250
FIG 6.3.19 Abbagliamento Dicembre	228	FIG 6.4.16 Pozzi di captazione per pompa di calore con acqua di falda	216	FIG 7.2.4 Presenza di progetti LEED nel mondo	238	FIG 7.3.10 Pianta degli spogliatoi collocati nel piano interrato	251
FIG 6.3.20 Abbagliamento Marzo con cielo coperto	228	FIG 6.4.17 Film sottile di silicio amorfo integrato all'interno del rivestimento metallico	216	FIG 7.2.5 Incidenza percentuale di ogni macroarea sul punteggio finale	239	FIG 7.3.11 Pianta dell'interrato con posti auto preferenziali	252

FIG 7.3.12 Zona dei parcheggi vicina agli ingressi riservata a carpool/vanpool.	253	FIG 7.4.1 Visualizzazione del modello analitico in 3D	302
FIG 7.3.13 Zona agricola limitrofa	254	FIG 7.4.2 APE con indicazione della classe energetica riferita al nostro edificio	303
FIG 7.3.14 Vista dell'area di progetto.	254		
FIG 7.3.15 Masterplan	255		
FIG 7.3.16 Rappresentazione grafica esemplificativa del funzionaento di una vasca.	264		
FIG 7.3.17 Ciclo di vita dei materiali riciclabili	278		
FIG 7.3.18 Individuazione dei raggi di 350 km e 1050 km dal sito di progetto	280		
FIG 7.3.19 Legno certificato PEFC	281		
FIG 7.3.20 PMV verifica estiva	291		
FIG 7.3.21 PMV verifica invernale	291		
FIG 7.3.22 Diagramma ASHRAE del benessere per la stagione estiva	292		
FIG 7.3.23 Diagramma ASHRAE del benessere per la stagione invernale	292		
FIG 7.3.24 Distribuzione dei lux all'interno degli ambienti scolastici.	293		



# INDICE DELLE TABELLE

TAB. 2.1.1 Numero degli abitanti per frazione di Casatenovo	32	TAB 5.2.4 Valori $k_{mod}$ per il legno lamellare incollato	154	TAB 5.4.9 Valore della categoria di esposizione III (NTC-D08)	166	TAB 5.4.20 Confronto delle combinazioni di carico quasi permanenti	172
TAB. 2.1.2 Età della popolazione di Casatenovo	32	TAB 5.2.5 Coefficienti di combinazione $\psi_1$ validi allo SLU e allo SLE	155	TAB 5.4.10 Valori del coefficiente di esposizione $C_e$	166	TAB 5.4.20 Dimensioni della staffa in alluminio	177
TAB. 2.1.3 Dati occupazionali per settore lavorativo nel Comune di Casatenovo	33	TAB 5.3.1 Valori di $\beta_0$ e $\beta_n$ per il legno	157	TAB 5.4.11 Pressione del vento da progetto	167	TAB 5.4.21 Valori di quota per gli spinotti di progetto	177
TAB. 2.1.4 Tabella riassuntiva delle ore di luce e delle altezze solari	43	TAB 5.3.3 Valori di $\beta_0$ e $\beta_n$ per il legno	159	TAB 5.4.12 Azione tangenziale del vento da progetto	167	TAB 5.4.22 Valori di resistenza legno lamellare GL32h	180
TAB. 2.1.5 Irradiazione solare media	43	TAB 5.4.1 Analisi dei carichi permanenti C.O.03161		TAB 5.4.13 Valori dei parametri $a_g, F_{vg}, T_c$ per i periodi $T_R$ di riferimento	167	TAB 5.4.23 Carichi verticali agenti	181
TAB. 2.2.1 Matrice SWOT	46	TAB 5.4.2 Analisi dei carichi permanenti C.O.04161		TAB 5.4.14 Valori dei parametri $a_g, F_{vg}, T_c$ per i periodi di ritorno $T_R$ associati a ciascuno Stato Limite	168	TAB 5.4.24 Combinazione dei carichi A	181
TAB 5.1.1 Umidità di equilibrio del legno	139	TAB 5.4.3 Analisi dei carichi permanenti C.O.05162		TAB 5.4.15 Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo SLV	168	TAB 5.4.25 Combinazione dei carichi B	181
TAB 5.1.8 Resistenza relativa all'angolo di applicazione della forza	140	TAB 5.4.4 Analisi dei carichi permanenti C.O.06162		TAB 5.4.16 Valori di resistenza legno lamellare GL24h	170	TAB 5.4.26 Combinazioni di carico rare sul portale	183
TAB 5.1.12 Legno PEFC da gestione sostenibile delle foreste	142	TAB 5.4.5 Analisi dei carichi permanenti P.O.08	163	TAB 5.4.17 Confronto delle combinazioni di carico fondamentali	170	TAB 5.4.27 Combinazioni di carico quasi permanenti sul portale	183
TAB 5.2.1 Classi di durata dei carichi	152	TAB 5.4.6 Analisi dei carichi permanenti PV.03	163	TAB 5.4.18 Confronto delle combinazioni di carico rare	172	TAB 5.4.28 Dimensioni pilastro portale	184
TAB 5.2.2 SLU - valori di $\gamma_m$	154	TAB 5.4.7 Spezzone della Tabella 3.1.II NTC-D2008	164	TAB 5.4.19 Confronto delle combinazioni di carico frequenti	172	TAB 5.4.29 Spaziature Eurocode5 e soluzioni progettuali	187
TAB 5.2.3 Valori $k_{mod}$ per il legno lamellare incollato	154	TAB 5.4.8 Zona climatica 1 (NTC-D08)	165			TAB 5.4.30 Tabella riassuntiva sul dimensionamento del controvento I-L	189

TAB 5.4.31 Spaziature Eurocode5 e soluzioni progettuali	190	TAB. 7.3.8 Crediti macroarea Energia e Ambiente	266
TAB 5.4.32 Valori della combinazione di carico assiale e laterale	191	TAB. 7.3.9 Soglie di punteggio con le relative percentuali.	270
TAB 5.4.33 Combinazione di carico fondamentale con neve dominante	192	TAB. 7.3.10 Soglie di punteggio con le relative percentuali. di energia rinnovabile.	271
TAB 6.3.1 Valori di illuminamento medio raccomandati per alcune attività lavorative secondo la norma UNI EN 12464-1	224	TAB 7.3.11 Crediti macroarea Materiali e Risorse	274
TAB 6.3.2 Valori minimi del fattore di luce diurna medio prescritti da normativa UNI 10840/2007	224	TAB 7.3.12 Soglie di punteggio con percentuale minima di rifiuti da riciclare	276
TAB 7.3.1 Crediti macroarea Sostenibilità del Sito	243	TAB 7.3.13 Soglie di punteggio con percentuale minima di materiale recuperato	277
TAB. 7.3.2 Crediti macroarea Gestione delle Acque	261	TAB 7.3.14 Soglie di punteggio con percentuale minima di materiale con contenuto di riciclato.	278
TAB. 7.3.3 Valori di riferimento.	261	TAB 7.3.15 Soglie di punteggio con percentuale minima di materiale prodotto a distanza limitata	279
TAB. 7.3.4 Consumi di acqua per le apparecchiature di scarico	262	TAB 7.3.16 Crediti macroarea Qualità ambientale Interna	283
TAB. 7.3.5 Consumi di acqua per le rubinetterie	262	TAB 7.3.17 Prestazioni qualità dell'aria interna minime	282
TAB. 7.3.6 Consumi di acqua totali	263	TAB. 7.3.18	295
TAB. 7.3.7 Percentuali minime di risparmio d'acqua	265	TAB. 7.3.19 Check List LEED	296