



**Politecnico
di Torino**

FACOLTÀ DI ARCHITETTURA

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN "ARCHITETTURA PER IL PROGETTO SOSTENIBILE"

ANNO ACCADEMICO 2020 - 2021

TESI DI LAUREA MAGISTRALE

**ARCHITETTURA MODULARE PREFABBRICATA
PER LO SVILUPPO DEL SISTEMA SCOLASTICO ITALIANO**

Progetti di ampliamenti con moduli prefabbricati in legno

CANDIDATA

Eleonora Manghi

RELATORE

Gustavo Ambrosini

CORRELATORE

Guido Callegari

Abstract

Introduzione

CAPITOLO 1

PANORAMA SOLASTICO ITALIANO

Patrimonio edilizia scolastica

Concezioni spaziali e pedagogia

Scenario attuale

situazione e necessità delle scuole in Emilia Romagna

CAPITOLO 2

MODULO

Costruzione modulare prefabbricata

padiglioni scolastici in Svizzera

Analisi di casi studio

Costruzione modulare in legno

Progetto del modulo

CAPITOLO 3

PROGETTI

Scuola Media Anna Frank

Scuola Media Toschi

Conclusioni

INTRODUZIONE

Il concetto di prefabbricazione viene spesso inteso, erroneamente, come un qualcosa di "scarsa qualità" ragion per cui si tratta di un mercato non ancora totalmente decollato. Eppure si parla di un approccio che vede la realizzazione di elementi, componenti o vani, interamente in fabbrica, ambiente controllato per eccellenza. In un luogo chiuso con macchinari tecnologicamente settati e sottoposti a continue verifiche è oggettivamente più facile evitare quegli errori che in cantiere, all'aperto e dove si ritrovano diverse figure a collaborare, potrebbero presentarsi. Non si tratta di denigrare una tecnica costruttiva piuttosto che un'altra, ma di dare la giusta valorizzazione ad ogni tecnica in base alle caratteristiche e i bisogni che richiede la lavorazione da attuare.

Quando la richiesta è quella di avere spazio in tempi ridotti, la tecnica della prefabbricazione risulta la scelta adatta. Se integrata con un'attenta progettazione preventiva infatti, permette una realizzazione veloce, controllata ed economica rispetto ad altre tecniche costruttive. Con la prefabbricazione le lavorazioni da cantiere vengono fortemente ridotte alla posa degli elementi, alla loro connessione e ad eventuali operazioni di rifinitura. Questa permette anche un risparmio economico, dato da un ritorno sugli investimenti più rapido, vista la velocità di realizzazione. Si può dire che si tratta di una tecnica sostenibile anche a livello ambientale, vengono infatti ridotti notevolmente i rifiuti prodotti non solo in cantiere, ma anche in fabbrica attraverso la continua ricerca e modernizzazione delle tecniche utilizzate. Parlando di una tecnica sostenibile, risulta quasi immediato abbinare ad essa l'utilizzo di un materiale anch'esso sostenibile: il legno. Oggi esistono diverse aziende che si occupano di prefabbricazione di elementi in legno, che realizzano elementi in materiali come il CLT. Acronimo di Cross Laminated Timber, si tratta di strati di listelli di legno massiccio incollati l'uno sopra all'altro alternando

ortogonalmente il senso delle fibre, vista la capacità del legno di resistere agli sforzi in direzione parallela alle fibre e ottenendo buone resistenze in entrambi i sensi.

La pandemia da Covid-19 che ha colpito l'Italia come il resto del mondo, ha messo alla luce diverse problematiche. Tra queste l'incapacità delle scuole italiane di fornire spazi adeguati per il proseguimento delle lezioni in presenza. Il problema era infatti quello di avere spazi sufficientemente grandi da permettere uno spazio interpersonale tra gli studenti che evitasse, o almeno diminuisse, il proliferare del virus. Da qui il sistema scolastico ha cercato di mobilitarsi dapprima cercando di diminuire l'affluenza delle aule, dimezzando il numero di studenti in presenza e alternandoli, poi cercando di creare dello spazio extra per consentire il corretto svolgimento delle lezioni. Soluzioni efficaci effettivamente non sono state trovate e si è dovuto aspettare più di un anno per poter tornare alla "semi-normalità". Da qui nasce il pensiero di fondo di questa tesi: trovare soluzioni progettuali rapide ed efficaci quando è richiesto spazio aggiuntivo per le scuole.

Che si tratti di spazi temporanei, come per il caso della pandemia o più semplicemente per spostare momentaneamente gli studenti mentre viene ristrutturata la sede scolastica, o di spazi permanenti, qualora sia prevista una crescita demografica o l'impossibilità di utilizzare le strutture esistenti, la costruzione modulare prefabbricata di elementi tridimensionali in legno è risultata la scelta migliore. Il tema è quindi quello di progettare un modulo base, realizzato in fabbrica di tutti i suoi componenti, dalla struttura alle rifiniture, ripetibile e da utilizzare per realizzare ampliamenti scolastici.

capitolo1

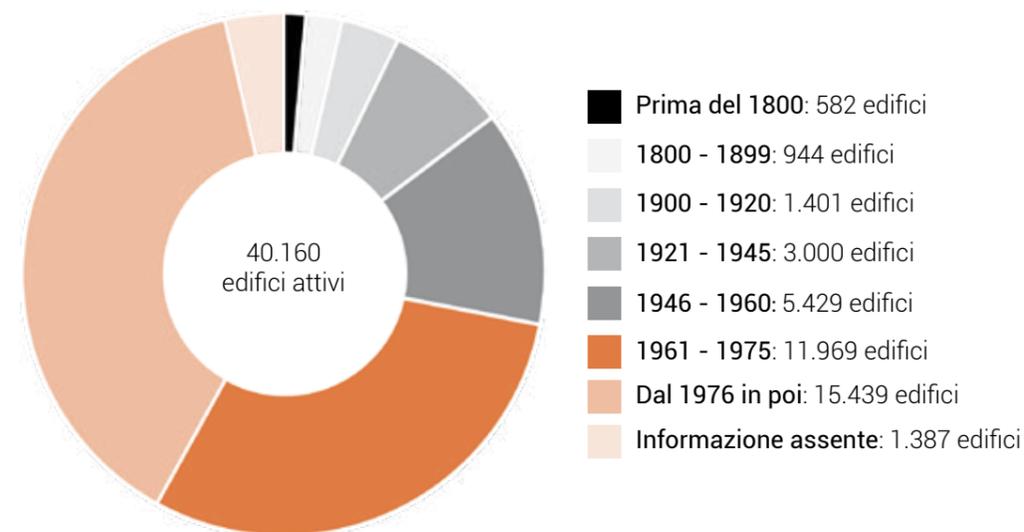
PANORAMA SCOLASTICO ITALIANO

1.1 PATRIMONIO EDILIZIA SCOLASTICA

Il patrimonio edilizio scolastico italiano si trova in condizioni piuttosto preoccupanti. A provarlo sono le indagini effettuate annualmente da Legambiente, nel rapporto Ecosistema Scuola, e quelle da parte del Ministero dell'Istruzione MIUR. Da queste analisi risulta che più della metà degli edifici scolastici della penisola è stato costruito prima del 1974, anno dell'entrata in vigore della prima normativa antisismica. Sono circa 21.000 gli edifici di più recente costruzione (dal 1976 in poi), circa 23.000 sono stati costruiti tra il 1946 e il 1976, 3.800 quelli con una data di costruzione antecedente il 1920. Il boom di realizzazione di scuole si è visto tra il 1958 e il 1983, con la costruzione di oltre 800 edifici all'anno¹.

Anno di costruzione delle scuole

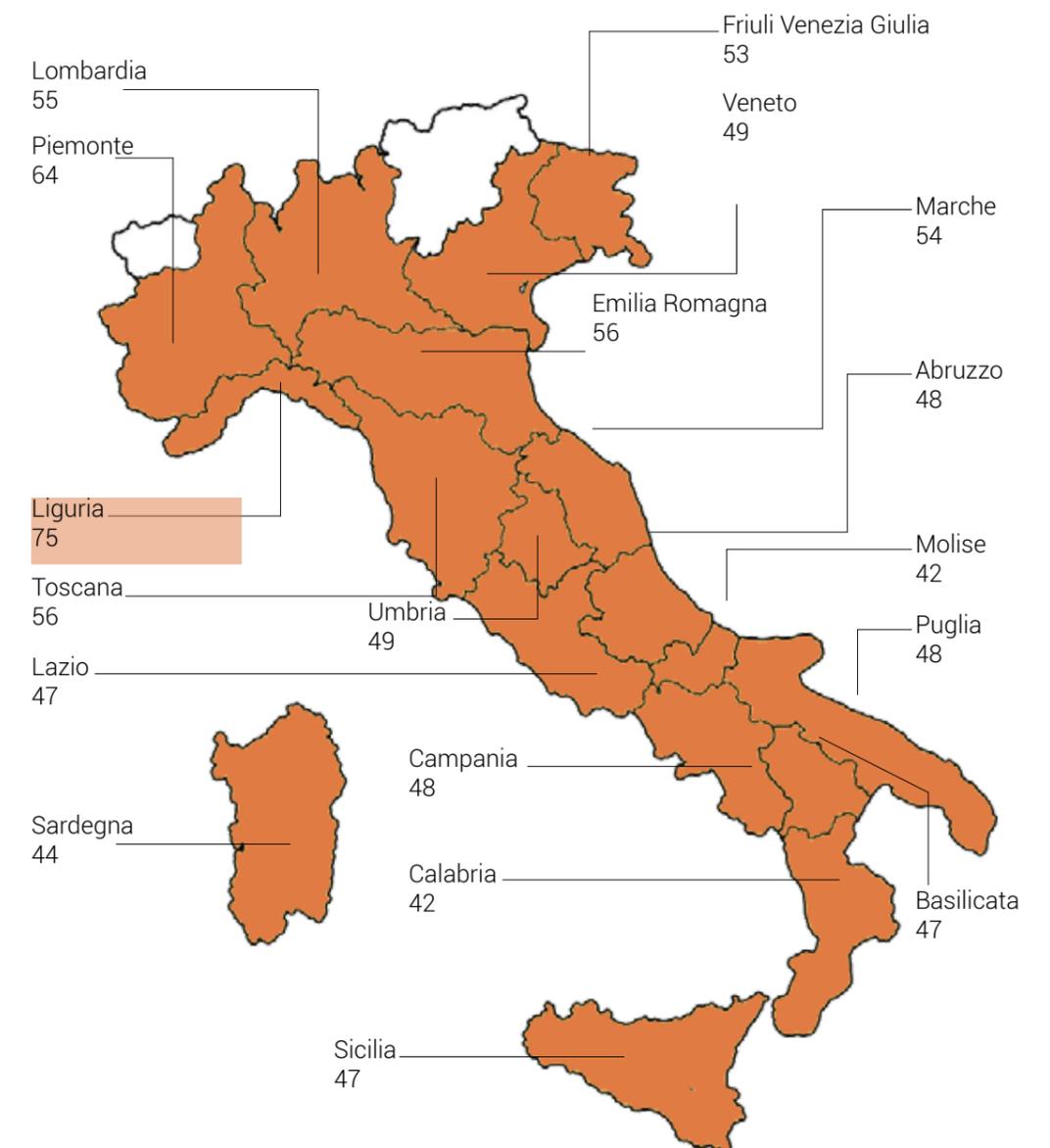
Fonte: Elaborazione dei dati di Anagrafe Nazionale dell'Edilizia Scolastica a partire dalle informazioni disponibili su anno/epoca di costruzione degli edifici



¹ Anagrafe Nazionale dell'Edilizia Scolastica, epoca di costruzione degli edifici

Età media degli edifici scolastici regione per regione (dati in anni)

Fonte: Elaborazione dei dati di Anagrafe Nazionale dell'Edilizia Scolastica a partire dalle informazioni disponibili su anno/epoca di costruzione degli edifici regione per regione



La regione con le strutture più vecchie è la Liguria, con una media di 75 anni, ma in generale sono gli edifici delle regioni del nord ad essere più antiche. Nell'insieme l'età media degli edifici scolastici italiani è di 51 anni².

² Rapporto Legambiente, Edilizia Scolastica

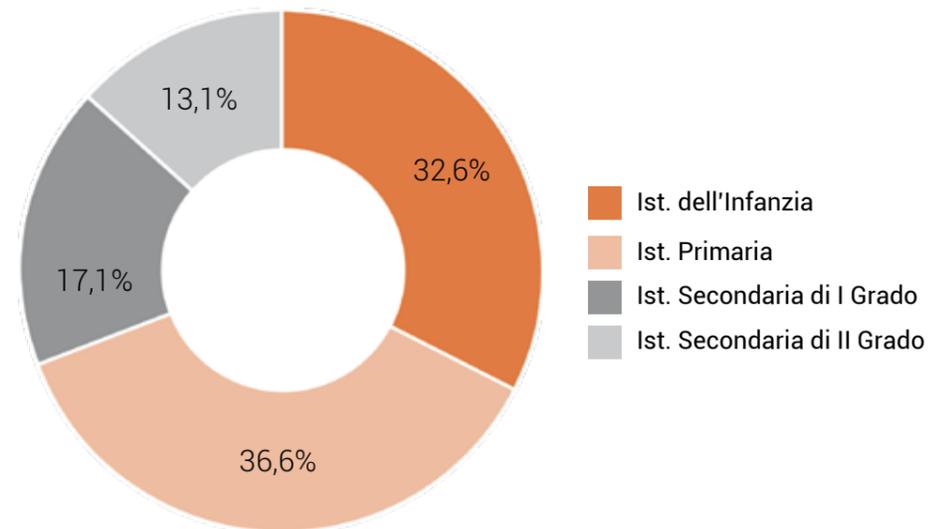
Sulla base dei dati forniti dalle strutture e reperiti dal Ministero dell'Istruzione, gli edifici scolastici presenti in Italia sono 43.236, di questi più di 3.000 sono attualmente inattivi e 34 sono inattivi per calamità.

Sul totale, quasi il 90% delle istituzioni si trova in edifici nati come scuole, il rimanente è insediato in edifici nati inizialmente come abitazioni (3,4%), caserme (0,2%), edifici storici (5,2%) e altre destinazioni d'uso (1,4%).

Le sedi scolastiche vengono suddivise per livello in sedi per l'Istruzione dell'Infanzia, per l'Istruzione Primaria, per l'Istruzione Secondaria di I Grado e per l'Istruzione Secondaria di II Grado³.

Sedi scolastiche per livello

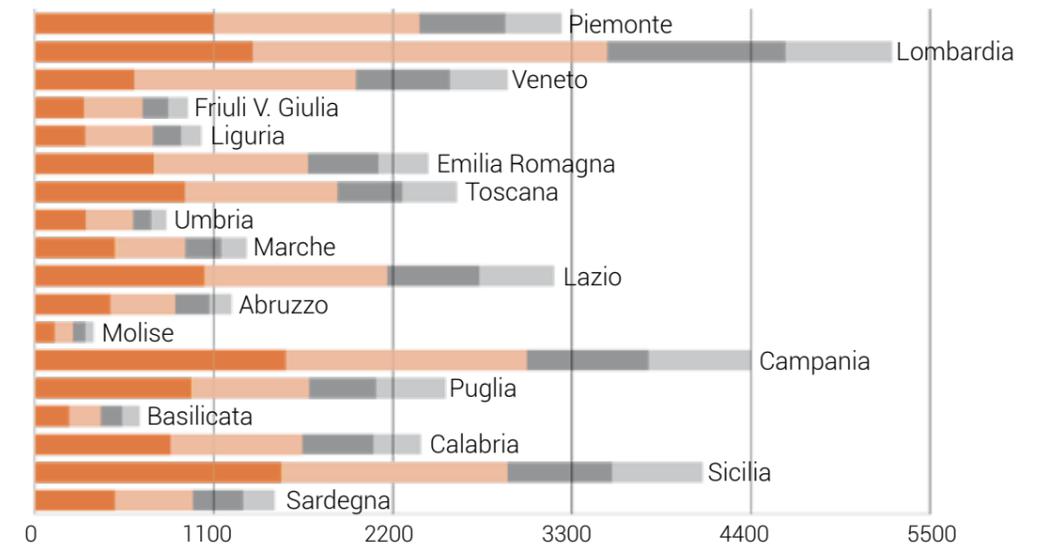
Fonte: Le sedi scolastiche statali, MIUR, 2019



³ MIUR, Le sedi scolastiche statali, tipologie

Sedi scolastiche per livello e per regione

Fonte: Le sedi scolastiche statali distribuite per regione e per livello scolastico, MIUR, 2019



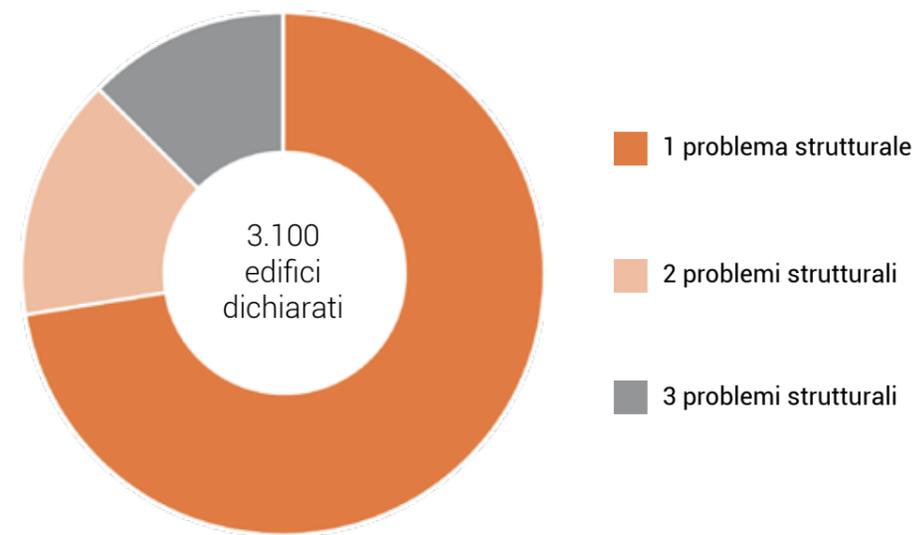
La regione con più istituti scolastici è la Lombardia, con un totale di 5.267 edifici. A seguire Campania e Sicilia, che contano rispettivamente 4.398 e 4.102 strutture.

Andando ad analizzare la situazione per livello, la regione con il maggior numero di istituti per l'infanzia è la Campania, a seguire la Sicilia e la Lombardia. Per quanto riguarda istituti per l'istruzione Primaria e Secondaria di I e II Grado al primo posto troviamo la Lombardia.

In Italia sono più di 3.000 gli edifici scolastici con problemi strutturali dichiarati, senza contare le strutture di cui non sono conosciuti i dati, si parla del 8,6% del totale. In particolare, tra la compromissione delle strutture verticali, dei solai o delle coperture, 2.257 edifici soffrono di un problema strutturale, 465 ne rilevano due e 388 ne presenta tre⁴.

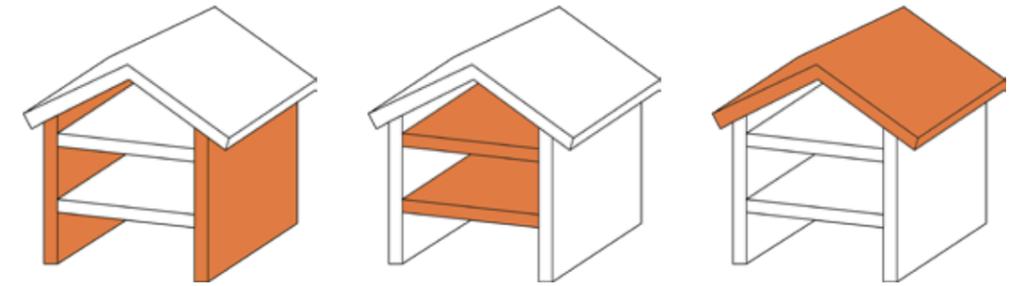
Problemi strutturali

Fonte: Edifici con problemi strutturali importanti, segnalati dai tecnici degli enti proprietari, Rapporto sull'edilizia scolastica, Fondazione Agnelli, 2016

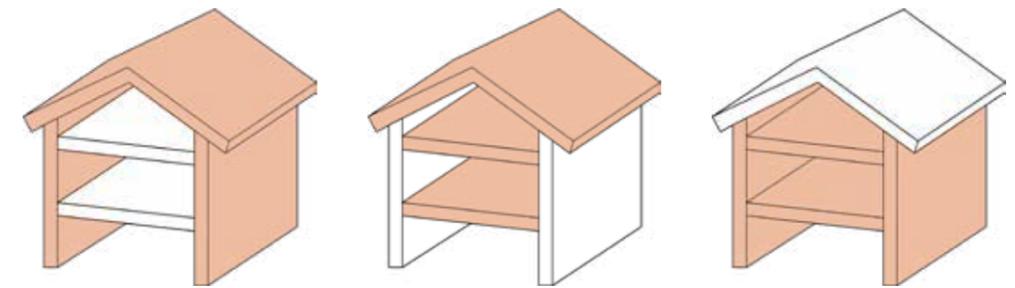


Problemi strutturali, tipologie e combinazioni

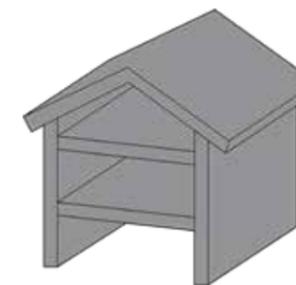
1 problema strutturale



2 problemi strutturali



3 problemi strutturali



⁴ Fondazione Agnelli, Rapporto sull'edilizia scolastica, 2016, problemi strutturali

Il quadro legislativo italiano in materia di edilizia scolastica ha visto pochi aggiornamenti nel corso della storia. Dopo il Decreto Ministeriale 18/12/1975 "Norme tecniche aggiornate relative all'edilizia scolastica", sono seguiti decreti e leggi contenenti piccoli cambiamenti o linee guida, ma mai una vera e propria modifica rilevante. Le norme tecniche per la progettazione degli edifici scolastici risultano quindi inadeguate rispetto ai moderni indirizzi di didattica che hanno preso sempre più piede negli ultimi anni. Questa situazione di inadeguatezza è ancora più grave se si pensa al fatto che nel 1996, con la legge n. 23 "Norme per l'edilizia scolastica", era previsto un aggiornamento, che si sarebbe dovuto attuare tramite Decreto Ministeriale, delle norme tecniche-quadro, contenenti indici minimi e massimi di funzionalità urbanistica, edilizia e didattica necessari a fornire indirizzi progettuali di riferimento adeguati e omogenei sul territorio nazionale: tale aggiornamento non si è mai concretizzato. In questa normativa, che in sostanza fa ancora riferimento al D.M. del 1975, sono indicati tra i tanti indici di riferimento per i mq lordi delle classi (tra i 166 e i 307), i mq netti totali per gli alunni (1,96) e il numero massimo di alunni per classe (25). Introduzione importante che ha portato questa normativa consiste nella creazione dell'Anagrafe dell'edilizia scolastica, diretta ad accertare la consistenza, la situazione e la funzionalità del patrimonio edilizio scolastico.

Nel 2013 vengono approvate le nuove linee guida varate dal MIUR "Norme tecniche-quadro, contenenti gli indici minimi e massimi di funzionalità urbanistica, edilizia, anche con riferimento alle tecnologie in materia di efficienza e garantire indirizzi progettuali di riferimento adeguati e omogenei sul territorio nazionale", in linea con l'innovazione dell'organizzazione della didattica. Le linee guida rinnovano i criteri per la progettazione dello spazio e delle dotazioni per la scuola del nuovo millennio, discostandosi da quelle precedenti del 1975, di stile prescrittivo. Questa nuova logica rende i criteri di progettazione più adattabili alle esigenze didattiche e organizzative della scuola. Le architetture interne sono ripensate per proporre uno spazio differente rispetto al modello di didattica basato sulla lezione frontale. Il MIUR propone spazi modulari, facilmente intercambiabili in modo da rispettare contesti educativi sempre diversi.

1975

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

1992

Norme di prevenzione incendi per l'edilizia scolastica

1996

Norme per l'edilizia scolastica e per l'edilizia scolastica prefabbricata

2011

Piano straordinario per la messa in sicurezza degli edifici scolastici

2013

Linee guida per le architetture interne delle scuole del MIUR

Anche i dati sulle certificazioni ci restituiscono un risultato poco rassicurante, in quanto, oltre alle basse percentuali di edifici a norma, non si rilevano particolari passi avanti rispetto agli anni passati. I dati relativi alle certificazioni sono riferiti alle sole strutture che hanno fornito/sono riuscite a reperire tali informazioni, c'è quindi da tenere conto che una parte del patrimonio scolastico non è incluso in questa analisi.

Il fatto che solo poco più della metà degli edifici scolastici sia dotato di collaudo statico fa ovviamente riflettere, vista l'obbligatorietà dello stesso, com'è possibile che quasi il 50% delle scuole non lo possiede ma sia comunque aperta? Stesse domande si pongono nel guardare il grafico riferito al certificato di agibilità, anch'esso requisito giuridico essenziale per un edificio pubblico.

Il 99,1% delle scuole svolge prove di evacuazione, dato positivo che presumibilmente si è consolidato nel tempo anche a seguito delle crescenti calamità che hanno colpito il nostro paese e coinvolto gli edifici scolastici, come terremoti ed alluvioni.

In materia di accessibilità è poco più dell'80% ad avere i relativi requisiti, dato in calo rispetto a 5 anni fa. Rispetto al 2015 sono stati registrati interventi per eliminare le barriere architettoniche nel 6,1% degli edifici, contro al 16,4% rilevato in precedenza; dato causato da una minore attenzione da parte delle amministrazioni per assicurarsi scuole aperte ed accessibili a tutti⁵.

⁵ Legambiente, Rapporto Ecosistema Scuola, 2019

con certificazione senza certificazione



Certificato di collaudo statico

Fonte: Rapporto Ecosistema Scuola 2019, Legambiente

Il 53,7% degli edifici scolastici è dotato di collaudo statico, rispetto a 5 anni fa la percentuale è salita solo di un punto percentuale.

Certificato di agibilità

Fonte: Rapporto Ecosistema Scuola 2019, Legambiente

Il 60,4% degli edifici scolastici è dotato del certificato di agibilità, dato in calo rispetto a 5 anni fa, quando contava il 61,2%.



Certificato di prevenzione incendi

Fonte: Rapporto Ecosistema Scuola 2019, Legambiente

Il 42,2% degli edifici scolastici risulta essere dotato di certificato prevenzione incendi, dato in crescita di 6 punti percentuale rispetto a 5 anni fa. Se questo trend si mantenesse costante porterebbe tutti gli istituti scolastici ad esserne in possesso fra circa 50 anni.



Nel 1974, con la legge 64⁶, viene approvato il primo documento che prevedeva una classificazione sismica nazionale del territorio e si iniziano a definire le prime norme tecniche. Le strutture scolastiche edificate secondo criteri sismici sono pari al 14,2%, negli ultimi 8 anni sono aumentati del 6%. Questa crescita è data anche dal fatto che il 32,9% degli edifici ha effettuato verifiche di vulnerabilità sismica, anche questo un dato in crescita rispetto agli anni passati. Ci troviamo, comunque, ben lontani dall'obiettivo di veder eseguita questa analisi su tutti edifici posti in aree a rischio sismico.

Il grafico "Edifici scolastici in zona sismica" mostra la distribuzione degli edifici attivi sulle 4 zone sismiche che classificano il territorio nazionale. Sono 189 gli edifici a non aver dichiarato tale informazione. La maggior parte di edifici attivi si trova in zona sismica 2 e 3, parlando di circa 14.500 edifici in entrambe le zone mentre nella zona 1 sono presenti quasi 3.000 strutture⁷.

Ad oggi, sempre tra gli edifici attivi, sono 5.117 quelli progettati o successivamente adeguati con la normativa antisismica, mentre sono 34.906 quelli a non essersi adeguati. Oltre a questo dato preoccupante continuano ad essere sul centinaio gli edifici a non dichiarare questa informazione, ovvero 137⁸. Parlando di sostenibilità, sono fermi sotto il punto percentuale gli edifici costruiti secondo i criteri di bioedilizia (0,9%). Gli stanziamenti attuati per rendere le scuole meno energivore e per aumentare la produzione di energia da fonti rinnovabili fanno registrare dei passi avanti. Ciò nonostante è ancora lunga la strada da percorrere sul fronte di efficientamento energetico, infatti solo l'1% degli edifici attivi si trova in classe energetica A, mentre quasi un edificio su due si trova nella classe più bassa, G⁹.

6 Legge 2 febbraio 1974, n. 64, "Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche"

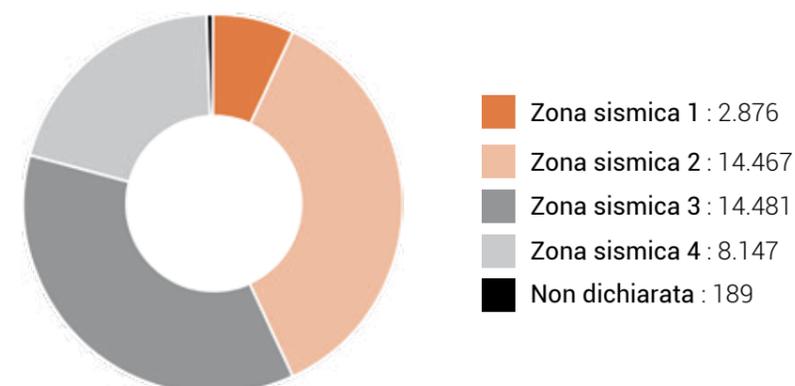
7 MIUR, I numeri di edilizia scolastica, zone sismiche

8 MIUR, I numeri di edilizia scolastica, normativa antisismica

9 Legambiente, Rapporto ecosistema scuola, 2019, classi energetiche

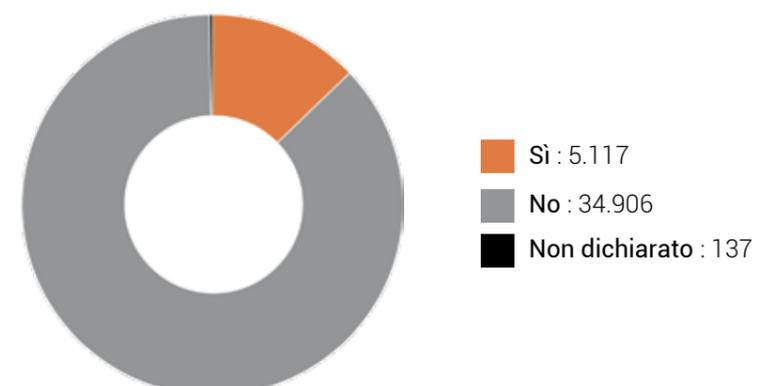
Edifici scolastici in zona sismica

Fonte: Elaborazione di dati da I numeri di edilizia scolastica, Ministero dell'Istruzione



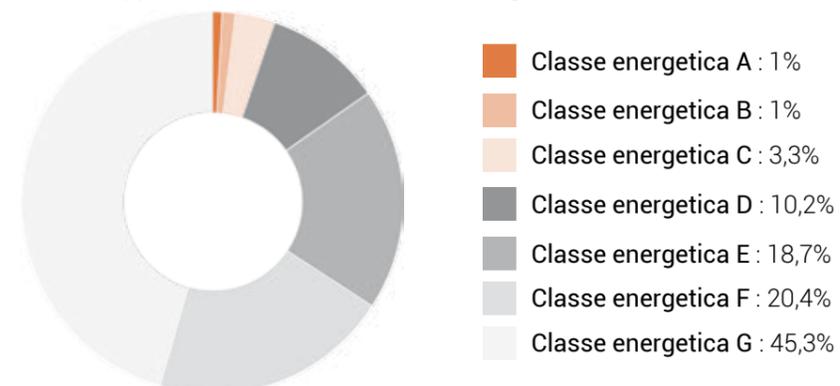
Edifici attivi progettati o successivamente adeguati con la normativa tecnica antisismica

Fonte: Elaborazione di dati da I numeri di edilizia scolastica, Ministero dell'Istruzione



Classe energetica edifici scolastici

Fonte: Rapporto Ecosistema Scuola 2019, Legambiente



Gli istituti che si servono di fonti di energia rinnovabile sono saliti al 18,2% rispetto al 13,5% registrato 5 anni fa. Tra gli edifici che utilizzano impianti la maggior parte, quasi l'80%, a seguire in percentuale più bassa il solare termico (26,9%); decisamente più bassa invece la quantità di edifici che utilizza impianti geotermici (1,6%), e impianti a biomassa o biogas, per i quali ci troviamo sotto al punto percentuale¹⁰.

Per quanto riguarda il rischio ambientale indoor e outdoor cui sono esposti gli edifici scolastici, i dati sono di difficile reperimento in quanto molti comuni hanno difficoltà nel trovarli, per scarsa capacità e conoscenza dei parametri legati all'esposizione delle strutture a fattori di rischio esterno. Tuttavia, analizzando i dati reperiti, i casi certificati risultano in diminuzione, allo stesso modo i casi sospetti.

Il fattore Radon nei pochi edifici analizzati, visto il basso numero di comuni occupati nel monitoraggio sulla sua presenza, resta un problema in quanto crescono sia i casi certificati che quelli sospetti. A diminuire invece sono i casi sospetti e certificati di rischio amianto, tuttavia resta un dato preoccupante dato che i comuni che risultano aver effettuato monitoraggi sono diminuiti rispetto a 5 anni fa¹¹.

Nonostante i fatti di cronaca riportino notizie riguardanti diversi crolli nelle scuole, i controlli sono ancora insufficienti. Infatti, sono il 20,7% gli edifici su cui sono state effettuate analisi diagnostiche sui solai, mentre il 7% quelli dove si sono eseguiti interventi di messa in sicurezza¹². Rispetto a 5 anni fa si rileva una maggiore esigenza di interventi urgenti, pari al 46,8% rispetto al 37,6% rilevato in precedenza. Il calo degli interventi realizzati si potrebbe anche collegare ai minori stanziamenti. Negli ultimi 5 anni la media di stanziamento annua per ogni edificio in manutenzione straordinaria si aggirava attorno ai 24mila euro, mentre negli anni precedenti era di circa 37mila euro, ben 13mila euro in meno per edificio scolastico¹³.

10 Legambiente, Rapporto ecosistema scuola, 2019, fonti di energia utilizzata dalle scuole

11 Legambiente, Rapporto ecosistema scuola, 2019, fattori di inquinamento indoor e outdoor

12 Legambiente, Rapporto ecosistema scuola, 2019, analisi diagnostiche sugli istituti scolastici

13 Legambiente, Rapporto ecosistema scuola, 2019, finanziamenti

Allo stesso modo scendono gli stanziamenti per la manutenzione ordinaria, seppur con numeri diversi, nell'ultimo quinquennio era di circa 7mila euro, contro gli 11mila del periodo precedente. A scendere, però, sono anche i soldi effettivamente spesi per questi interventi. Nel 2017, contando una media a edificio di 25mila euro stanziati per la manutenzione straordinaria, ne sono stati spesi solo 14mila, quasi il 44% in meno; per la manutenzione ordinaria invece, su 7.631 euro stanziati in media ad edificio, ne sono stati spesi 6.700, circa l'11% in meno. Agli stanziamenti delle amministrazioni, vanno però aggiunti i fondi nazionali e regionali per l'edilizia scolastica cui hanno avuto accesso: 7mila euro per la manutenzione straordinaria e 4.500 per quella ordinaria.

I dati regionali riguardanti manutenzione e investimenti dimostrano il forte divario esistente tra le regioni italiane. In Trentino Alto Adige solo lo 0,9% degli edifici necessita di interventi urgenti, contro l'82,3% della Calabria. La spesa media a edificio scolastico per la manutenzione straordinaria in Trentino Alto Adige è di più di 47mila euro, in Abruzzo è quasi di 2.500 euro; per la manutenzione ordinaria in Toscana la spesa media è di 18.500 euro, in Abruzzo di soli 1.076¹⁴.

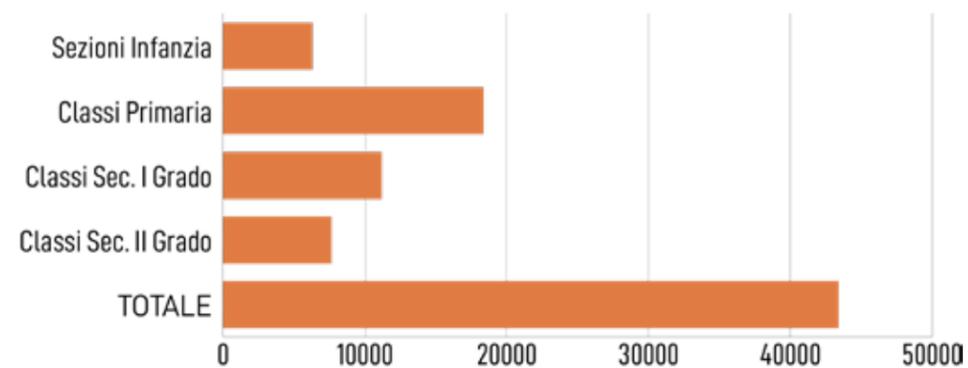
14 Legambiente, Rapporto ecosistema scuola, 2019, stanziamenti per gli interventi

Attualmente il numero di classi della scuola statale ammonta a 369.769, con un corrispondente di studenti pari a 7.599.993¹⁵.

I grafici mostrano la distribuzione degli alunni e delle classi per le varie regioni. Si può notare che la regione con il maggior numero di scolari e di conseguenza di sezioni/classi è la Campania, seguita da Lombardia e Sicilia. Questi dati sono relativi all'anno scolastico 2019/2020, ma secondo un stima dell'ISTAT nei prossimi 10 anni arriveremo ad avere 1 milione di studenti in meno, perdendo circa 43mila classi¹⁶.

Variazioni assolute nel numero di classi/sezioni, dall'a.s. 2018/19 al 2029/30

Fonte: Rapporto sull'edilizia scolastica, Fondazione Agnelli, 2019

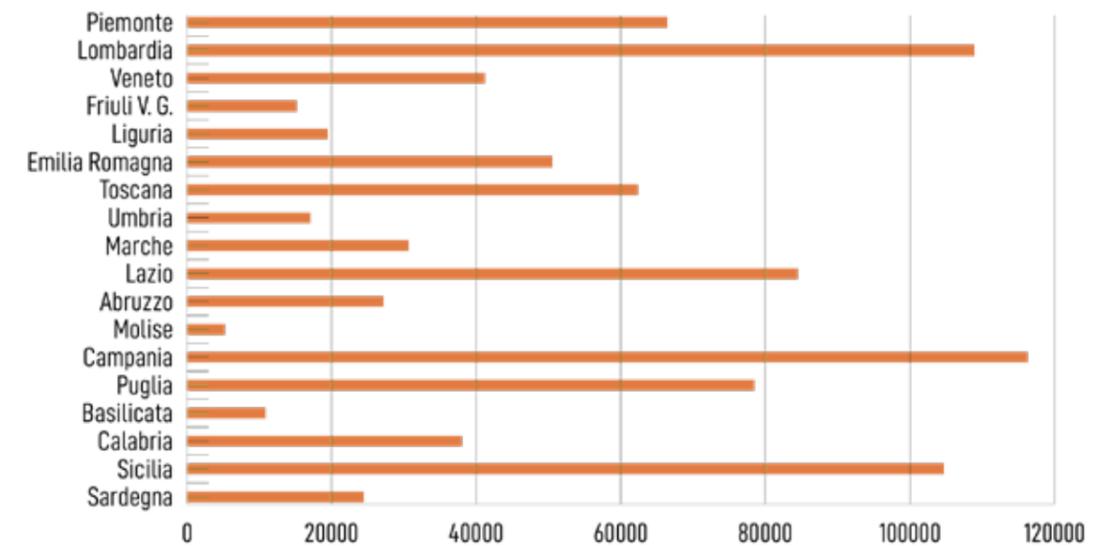


15 MIUR, Le linee guida del MIUR, 2019, numero di classi e alunni

16 Fondazione Agnelli, Rapporto sull'edilizia scolastica, 2019, variazioni nel numero di classi

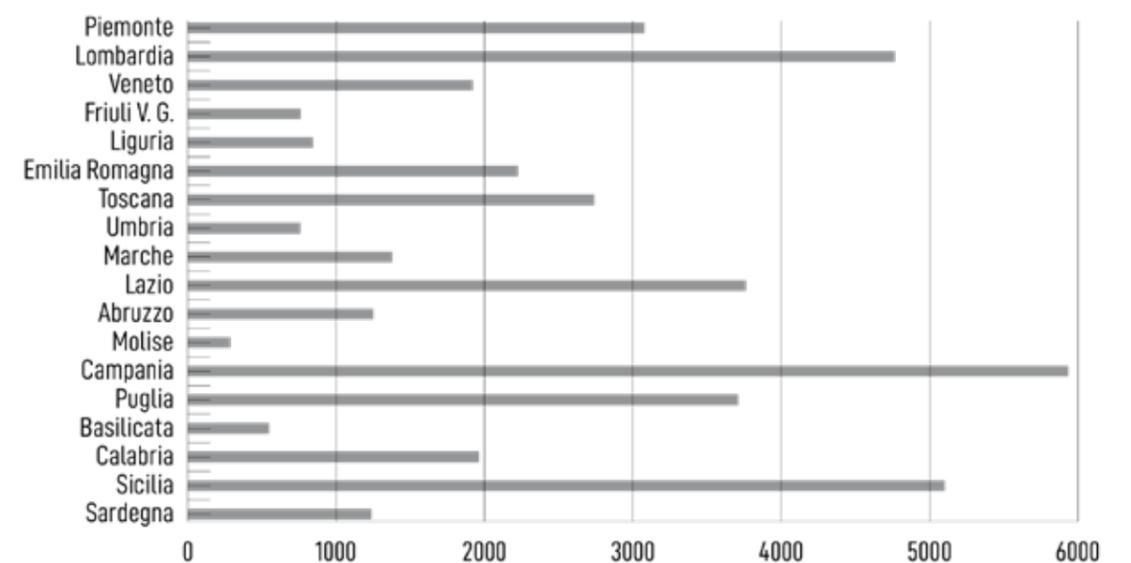
Numero di alunni distribuiti per regione

Fonte: Le linee guida del MIUR, 2019



Numero di classi distribuite per regione

Fonte: Le linee guida del MIUR, 2019



1.2 CONCEZIONI SPAZIALI E PEDAGOGIA

“ [...] abbiamo l'opportunità di riorganizzare e rilanciare le scuole e l'istruzione in modo che appaia molto diversa dal luogo in tutti abbiamo imparato con file su file di aule, ognuna con un insegnante che lotta coraggiosamente per impartire conoscenza a un sempre più disinteressato pubblico¹⁹ [...] ”

Prakash Nair
Architetto scolastico

La nostra società negli ultimi decenni ha visto cambiamenti che hanno reso antiquato e poco adeguato il modello industriale di scolarizzazione di massa, inteso come ambiente costituito da aule standardizzate con setting frontali dove un insegnante trasmetteva un insieme di informazioni a un gruppo di studenti che doveva apprenderle con gli stessi tempi e modalità. Le ricerche effettuate in ambito scolastico hanno indicato come esistano diverse modalità di insegnamento e apprendimento e che, in entrambi i casi, è necessario il coinvolgimento attivo degli studenti perchè queste strategie siano efficaci. Attualmente la maggior parte delle scuole italiane non garantiscono ambienti adatti, perchè pensati e progettati per un'idea di scuola ormai largamente superata. La società industriale ha sempre promosso una struttura di scuola con l'obiettivo di creare relazioni gerarchiche basate su ordine, controllo, sorveglianza, disciplina e competizione e non è stata mai messa in discussione nei suoi aspetti simbolici e funzionali.

A livello didattico l'aula della società industriale è pensata e allestita per un modello "trasmissivo", basato sul fatto che la conoscenza dell'insegnante viene trasmessa e acquisita dallo studente; la struttura base della scuola quindi, secondo questo modello, prevedeva aule per lezioni frontali delle classi e aule speciali, come i laboratori, collegate tra loro da spazi di passaggio. Un modello metodologico di questo tipo necessita soltanto di uno spazio fisso, con cattedra e banchi allineati, ma un modello che implica diversi approcci didattici richiede diverse modalità di rapportarsi all'ambiente. Le caratteristiche delle aule e degli altri spazi non devono essere rigidamente stabilite a priori, ma determinate dal tipo di attività che vi si deve svolgere. Ed essendo

¹⁹ BORRI SAMUELE, *Spazi educativi e architetture scolastiche: linee e indirizzi internazionali*, Indire, Firenze, A. 2016, p. 34.

le attività diversificate, anche l'ambiente deve prevedere spazi e strumenti diversi.

La necessità di ripensare le caratteristiche degli edifici scolastici, degli ambienti interni ed esterni, si deve basare non solo su aggiornamenti normativi, ma soprattutto su processi di innovazione culturale, sul ripensamento del ruolo della scuola per le società attuali e future. Spazi aperti, aree interne, arredi flessibili, tecnologie mobili sono alcuni esempi di un ambiente didattico nuovo, che richiede ripensamenti complessivi²⁰.

Le stagioni dell'edilizia scolastica: sempre e solo didattica trasmissiva

- 1900** La scuola razionale. Dal '900 agli anni 20.
- 1920** Tra razionalismo e scuola all'aperto: ventennio fascista.
- 1946** Scuole della ricostruzione e boom economico.
- 1960** Sperimentazioni e grandi numeri, dal boom alla crisi.
- 1976** Il rinnovamento normativo: dal 1976 ad oggi.

²⁰ MOSA ELENA, *Spazi educativi e architetture scolastiche: linee e indirizzi internazionali*, Indire, Firenze, Capitolo 1 "Principali direttrici di ricerca internazionali sul rapporto tra didattica e spazi educativi", A. 2016, pp. 13 - 24.

La scuola della società della conoscenza implica il confronto con competenze diverse rispetto a quelle della società industriale. Essa non deve essere considerata come luogo di solo studio, deve essere anche e soprattutto un luogo da abitare, oltre che da frequentare. Lo spazio quindi ha anche a che fare con il tempo e il tempo libero; gli studenti devono poter avere del tempo per "fare pausa" dall'attività didattica.

L'organizzazione dell'ambiente fisico, del "terzo insegnante", deve prevedere lo studente al centro del proprio processo di apprendimento, nel quale lo spazio è imprescindibile in quanto necessario per tessere relazioni, esperienze, idee e modi di esprimere idee. Una scuola che fonda i suoi principi educativi su questa premessa si presenta come un "cantiere" nel quale si instaurano relazioni con la comunità circostante, dove "la dimensione del fare ha un ruolo strategico". Da questa riflessione nasce la "scuola atelier", che dobbiamo a Loris Malaguzzi.

Loris Malaguzzi (Correggio 1920 - Reggio Emilia 1994) è stato un pedagogista e insegnante italiano, egli intendeva lo spazio come "terzo Insegnante", in quanto esso non ricopre solo un ruolo funzionale, ma anche rappresentativo del modo in cui le diverse attività scolastiche possono essere svolte. L'ambiente in cui l'alunno si trova ad interagire ha una grande importanza. L'architettura e il progetto degli ambienti interni devono saper rispecchiare gli obiettivi della pedagogia, devono saper creare relazioni. Una didattica incentrata sulle relazioni deve avere a supporto degli spazi che siano permeabili. L'edificio scolastico non è soltanto un involucro nel quale avvengono azioni, rappresenta il terzo soggetto che interagisce e si relaziona con alunni e insegnanti, perchè l'ambiente incoraggia le relazioni e stimola gli interessi. Anche la parte estetica ha il suo valore. Si è sempre cercato di costruire scuole belle perchè l'atmosfera di un ambiente piacevole mette le basi per situazioni di apprendimento produttive²¹.

Una nuova scuola richiede strumenti, metodi, scenari molto diversificati tra loro per allontanarsi dall'idea di scuola della società industriale, nella quale gli studenti sono paragonabili ad operai in una catena di montaggio, ognuno con lo stesso standard di conoscenza da assemblare.

21 PAOLA VITTORIA PIGNATARO, *La pedagogia relazionale di Loris Malaguzzi*, Padova, 2014.

Nella scuola della società della conoscenza sono gli studenti a rifornirsi in modo autonomo di informazioni e a farle proprie nel percorso didattico.

Queste riflessioni non intendono adattarsi semplicemente ai "tempi che corrono", ma derivano anche dal fatto che attualmente fare scuola non produce più menti ambiziose per il mondo del lavoro, anzi, non tiene conto delle competenze di base e delle soft skills e hard skills, ovvero quelle competenze e caratteristiche personali che vengono esaminate durante i colloqui di lavoro. A sostegno di queste considerazioni vi sono diverse ricerche internazionali, come quelle effettuate dall'OCSE sugli apprendimento di base dei ragazzi quindicenni, e le Raccomandazioni della Commissione Europea, come gli obiettivi della strategia "Europa 2020", sulla base delle quali si possono ritrovare 5 aspetti su cui ripensare il "fare scuola":

1. LifeLong Learning: collocare l'apprendimento degli studenti in un quadro di apprendimento lungo tutto l'arco della vita, non solo negli anni scolastici;
2. Apprendimento informale: l'apprendimento può avvenire anche in contesti diversi dalla classe e può avere carattere non intenzionale;
3. Le differenze cognitive degli studenti: vi sono differenze cognitive che caratterizzano ogni persona e di conseguenza ognuno ha modalità proprie con cui sviluppa e partecipa ai processi didattici
4. Superare la separazione delle discipline che impedisce di fatto di cogliere il complesso
5. Metodologie didattiche che portano gli studenti ad avere ruoli attivi (ad esempio il problem solving, cooperative learning, ecc...)²²

I primi due punti sono in stretto contatto tra loro e spostano l'attenzione anche fuori dall'intervento sulla scuola, la quale non è più intesa come unica parte dell'ecosistema formazione, ma chiamata a confrontarsi con l'ambiente del lavoro, le agenzie formative, culturali e ricreative che ne mutano sen'altro ruoli e funzioni. I punti 3, 4 e 5 interessano l'attività didattica, esistono studi che provano l'esistenza di diverse intelligenze a prova del fatto che un tipo di educazione uguale per tutti non è la sola strada per formare gli studenti. Rompere la netta separazione delle discipline e ricompattare i saperi

22 MOSA ELENA, *Spazi educativi e architetture scolastiche: linee e indirizzi internazionali*, Indire, Firenze, Capitolo 1 "Principali direttrici di ricerca internazionali sul rapporto tra didattica e spazi educativi", A. 2016, p. 16.

permetterebbe di rispondere alle sfide umane nella vita quotidiana, sociale, politica, nazionale e mondiale. Viste queste premesse, è necessario ripensare i metodi di didattica che meglio possono affiancare (non rimpiazzare) la didattica frontale, fondamenta della scuola italiana. Tralasciando la strategia trasmissiva, nel Rapporto Sull'Edilizia Scolastica redatto dalla Fondazione Agnelli, sono state individuate altre 5 strategie: comportamentale (frequente interazione con gli studenti per verifica della loro comprensione), simulativa (simulazione, in ambiente protetto, dei problemi reali), collaborativa (attività in collaborazione con i propri pari, a coppie o gruppi), esplorativa (riflessione e scoperta autonoma di soluzioni a quesiti posti dall'insegnante) e metacognitiva (riflessione autonoma sui processi di apprendimento)²³.

Il luogo di apprendimento, in vista delle considerazioni precedenti, deve essere concepito come un ambiente interattivo, da potersi modificare in base alla strategia didattica in uso. Deve prendere il posto del modello unicamente frontale e strettamente utile per strategie "uno a molti", le sue componenti di spazio, strumenti e arredi devono potersi adattare per poter garantire le diverse modalità di apprendimento in modo flessibile e veloce.

Per un lungo periodo ogni spazio dell'istruzione scolastica era finalizzato allo svolgimento di un'unica attività, restando quindi inutilizzato per il resto del tempo. Oggi, però, emerge l'esigenza di vivere la scuola come un unico complesso di spazi interconnessi, ognuno dei quali capace di ospitare persone in ogni momento, anche se pensato per attività diverse.

Il sistema degli spazi scolastici, studiando l'affluenza delle persone nell'arco della giornata, vede spazi differentemente abitati. Sono presenti spazi come atelier o laboratori, con un'alta affluenza nel momento dell'attività; spazi con una flessibilità alta, come gli ambienti limitrofi alle classi e gli spazi tra esse e spazi più generici ovvero quelli connettivi, che potrebbero offrire modalità informali di apprendimento (sia a livello individuale che di gruppo), se non pensati esclusivamente come luoghi di passaggio da un ambiente a un altro. Eliminare gli spazi connettivi, i corridoi e i luoghi di solo passaggio, a vantaggio di spazi sempre abitabili dagli utenti della scuola per usi che vanno da quelli didattici a quelli più informali o alla fruizione di servizi, aumenta la

23 Fondazione Agnelli, Rapporto sull'Edilizia Scolastica, 2019

vivibilità della scuola.

Anche se con qualità differenti, in Italia oramai la maggior parte delle città può usufruire delle nuove tecnologie. Esse, però, richiedono un'organizzazione mirata degli spazi scolastici per poterle sfruttare al meglio. È quindi necessario attuare una progettazione che integri i diversi ambienti, connettendoli per promuovere una condivisione "oltre l'aula". La suddivisione interna degli ambienti deve realizzarsi attraverso pareti con un buon isolamento acustico, divisori o pareti mobili e lo sfruttamento intelligente della luce naturale.

Il sistema scolastico deve essere pensato in modo da permettere una trasformazione dello spazio in funzione dell'attività da svolgersi, così da gestire l'ambiente in base del livello di trasparenze, partizioni o visibilità. L'utilizzo di mobili e partizioni flessibili consente di ottimizzare il tempo di utilizzo dello spazio, grazie alla possibilità di riconfigurare l'ambiente in diversi modi quante sono le possibili attività didattiche, riconvertire un'ambiente infatti, permette di poterlo utilizzare per tutto il tempo disponibile, eliminando i tempi necessari per lo spostamento da un ambiente all'altro.

Le linee guida del MIUR suddividono gli ambienti scolastici in 5 luoghi principali:

1. L' Aula / Home Base

Solitamente inteso come unico luogo della didattica quotidiana, l'aula moderna è uno spazio ancora pensato per le lezioni frontali, ma ora è uno dei tanti luoghi in cui il percorso di apprendimento è focalizzato sullo studente. È lo spazio in cui l'insegnante ha ruolo diretto ed esplicito e dove si pongono le basi e si traggono le conclusioni del percorso didattico nel complesso.

2. Lo spazio di gruppo

Esistono diverse strategie didattiche che prevedono il lavoro in gruppi. Il docente, in questo spazio, non svolge attività di lezioni frontali, ma funge da organizzatore delle attività. Devono quindi essere pensati spazi che possano essere abbastanza flessibili da consentire lavori in piccoli, medi e grandi gruppi di studenti, attività di discussione che coinvolgono tutta la classe o di esposizione degli argomenti da parte dell'insegnante.

3. Lo spazio laboratoriale

Il laboratorio, o atelier, richiede spazi in cui lo studente possa muoversi in autonomia attivando tutta una serie di processi che va dall'osservazione, all'esplorazione e alla produzione di elaborati/artefatti. Lo spazio deve essere attrezzabile, deve accogliere strumentazioni e risorse necessarie per operare nello specifico contesto.

4. Lo spazio individuale

Lo studente necessita di uno spazio individuale dove passare momenti per lo studio, la lettura e pianificare le proprie attività. Questo spazio deve essere separato dall'aula e dai contesti di incontro sociale, per garantire l'accesso a informazioni e contenuti in autonomia e in sintonia coi propri ritmi di lavoro.

5. Lo spazio informale e di relax

È uno spazio in cui gli studenti possono "staccare" dalle attività di apprendimento e interagire in maniera informale con altre persone, rilassarsi, avere accesso a risorse non collegate alle materie scolastiche (accesso a risorse digitali e non, pause, giochi, ecc.)²⁴.

Negli ultimi anni diverse associazioni hanno iniziato progetti per portare nelle scuole questa nuova visione che si distacca dalla didattica prevalentemente trasmissiva. *Senza Zaino* è un'associazione no profit di Lucca che dal 2012 promuove obiettivi sociali con il fine di incoraggiare, organizzare e incentivare nelle scuole di ogni grado e nelle comunità modalità didattiche che si basano su 4 valori principali²⁵.

1. Ospitalità

Come abbiamo visto, l'aula tradizionale prevede un setting statico e finalizzato alla sola lezione frontale. Lo spazio risulta "monotopo", ovvero costituito da un'unica area. Ne consegue che, seppur con i giusti propositi, viene a imporsi il modello di didattica standardizzata. L'organizzazione della classe deve prevedere, così come l'intero spazio scolastico, delle zone diverse che

24 MIUR, Linee guida per le scuole

25 Valori senza zaino in "<https://www.senzazaino.it/chi-siamo/visione/i-3-valori-senza-zaino>"

possano permettere di diversificare le attività e anche la possibilità che diverse attività si possano svolgere nello stesso momento. Questo incentiva l'autonomia dello studente e la sua capacità di scelta. Individualizzare e diversificare la didattica consente quindi di "ospitare" le molteplici personalità degli studenti e di progettare una scuola che sia davvero per tutti.

2. Responsabilità

Maria Montessori (Chiaravalle AN 1870 - Paesi Bassi 1952), nota pedagogista italiana ideatrice del metodo che porta il suo nome, promuoveva un sistema in cui il maestro dovesse aiutare l'alunno a "saper fare da solo". Sosteneva che lo studente necessita di "libertà" per poter imparare, per liberare la propria creatività.

Questo principio sostiene che lasciare la libertà di scelta promuove la crescita dell'alunno, crescita che avviene quando il soggetto riesce a comprendere i significati di ciò che viene proposto utilizzando le proprie risorse e la propria motivazione²⁶.

Senza sminuire le classiche discipline didattiche, si può dire che gli alunni hanno bisogno di interfacciarsi con le situazioni reali, imparare a risolvere e convivere con i problemi di tutti i giorni. Il problema è che la scuola costituisce un ambiente di continuo studio che dovrebbe preparare gli alunni alla vita dopo la maggior età, ma non permette agli studenti di interagire con i veri problemi del mondo.

3. Comunità

Senza Zaino promuove un'organizzazione degli ambienti (nell'aula come nell'intera scuola) che permette la condivisione continua di lavoro e di relazioni tra gli insegnanti e gli allievi.

L'aula deve essere progettata per aree, così come gli spazi per i docenti, che spesso vengono considerati come meri luoghi di passaggio. La comunità, in questo senso, deve essere anche e soprattutto "di luogo" per poter permettere alle relazioni di crescere.

26 Storia del metodo: nascita del modello montessoriano in "<https://www.metodomontessori.it/storia-montessori-metodo>"

4. Approccio globale al curricolo (CGA)

L'associazione evidenzia l'importanza dell'organizzazione spaziale nelle scuole, in quanto il "setting" che si propone definisce sia il metodo didattico da adottarsi, sia le possibili relazioni che possono andarsi a creare al suo interno.

John Dewey (USA 1859 - 1952) filosofo e pedagogista statunitense, sosteneva che "si apprende più dall'ambiente, inteso anche come comunità, che dal singolo insegnante²⁷". In questo contesto, si può suddividere il sistema educativo in due strutture: una materiale, composta dall'architettura, dagli arredi, dalle tecnologie, ecc... e una immateriale che comprende le relazioni e le competenze di alunni e insegnanti.

Il concetto di approccio globale si riferisce anche alla persona in sé, quindi vanno considerate tutte le caratteristiche dell'individuo a livello cognitivo, ma anche a livello di esperienze personali che riesce a intraprendere nell'ambiente scolastico.

Il CGA promuove il *cosa*, ovvero i contenuti didattici, connesso al *come*, che riguarda i metodi di insegnamento. Ogni relazione ed esperienza avviene in luogo e questo ha il potere di trasformare l'individuo che ne fa parte. L'ambiente va quindi inteso come un "valore culturale" che permette a chi lo abita, gli alunni, di realizzarsi sia a livello personale che sociale²⁸.

27 JOHN DEWEY, *Il mio credo pedagogico*, 1897

28 CGA Approccio Globale al Curricolo in "<https://www.senzazaino.it/chi-siamo/visione/l-approccio-globale-all-curricolo>"

1.3 SCENARIO ATTUALE IN EMILIA ROMAGNA

Programmazione unica triennale nazionale degli interventi di edilizia scolastica

Tra i principali strumenti di governance in materia di edilizia scolastica vi è la programmazione unica triennale nazionale.

La programmazione unica triennale nazionale degli interventi di edilizia scolastica viene introdotta per la prima volta con il Decreto Interministeriale 23 gennaio 2015 "Modalità e termini per il versamento dell'imposta sul valore aggiunto da parte delle pubbliche amministrazioni" (con riferimento al triennio 2015-2017)²⁹. Con il suddetto decreto si dava finalmente atto al Decreto Legislativo 104/2013 "Misure urgenti in materia di istruzione, università e ricerca"³⁰, il quale autorizzava le Regioni, per quanto riguarda gli interventi di edilizia scolastica, a concordare dei mutui con la Banca Europea per gli Investimenti (BEI) e altri canali di finanziamento.

Dal 2018 viene stabilito che possono essere inseriti all'interno della programmazione unica triennale anche interventi di ristrutturazione, messa in sicurezza, adeguamento e miglioramento sismico, efficientamento energetico e riqualificazione di edifici pubblici.

La programmazione unica triennale presa qui in esame è stata avviata tramite il Decreto Interministeriale del 3 gennaio 2018 "Programmazione nazionale in materia di edilizia scolastica per il triennio 2018-2020"³¹ e modificata successivamente con il Decreto Ministeriale del 10 dicembre 2018³², a causa anche di errori da parte degli enti che comunicarono gli interventi.

Il Decreto Interministeriale del 3 gennaio 2018 stabilì che le regioni dovevano inviare al MIUR i piani regionali contenenti gli interventi richiesti dagli enti locali entro il 2 agosto 2018. Il MIUR avrebbe poi trasmesso tutti i piani al MIT (Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti), che li avrebbe inseriti in un'unica programmazione nazionale sulla base dei finanziamenti disponibili.

29 D.I. 23 gennaio 2015, Modalità e termini per il versamento dell'imposta sul valore aggiunto da parte delle pubbliche amministrazioni

30 D.L. 104/2013, Misure urgenti in materia di istruzione, università e ricerca

31 D.I. 3 gennaio 2018, Programmazione nazionale in materia di edilizia scolastica per il triennio 2018-2020

32 D.M. 10 dicembre 2018, (Rettifica della Programmazione unica nazionale 2018-2020 in materia di edilizia scolastica)

Il 6 settembre 2018, viene adottato un Accordo Quadro³³ che definisce i criteri con cui vengono divise le risorse dei finanziamenti regione per regione, riduce la burocrazia e velocizza l'erogazione dei finanziamenti. Questo accordo prevedeva che per gli interventi inseriti nel triennio 2018-2020 le risorse venivano suddivise tenendo conto, per ogni regione, del numero degli studenti; il numero di edifici; le zone sismiche in cui si trovano le scuole e l'affollamento degli istituti. Ulteriori aggiornamenti sono stati adottati per le annualità 2019 e 2020.

Esistono diversi canali di finanziamento per la realizzazione di interventi di edilizia scolastica, tra questi si possono individuare:

- Fondo unico per l'edilizia scolastica
- Fondi investimenti delle amministrazioni centrali dello Stato
- Mutui BEI
- Fondo per interventi straordinari della Presidenza del Consiglio
- Contributi a province e comuni
- Piano straordinario per l'adeguamento alla normativa antincendio delle scuole

Gli interventi da eseguire sugli edifici scolastici inseriti nella programmazione possono essere di diverse tipologie:

- Messa in sicurezza
- Manutenzione
- Ristrutturazione
- Nuove costruzioni
- Adeguamento alle normative (agibilità, antisismiche, antincendio, ecc...)
- Efficientamento energetico

33 Accordo Quadro, Convenzione attuativa dell'Accordo quadro 2018-2020 ANCI Emilia Romagna - ATERSIR per la realizzazione di attività di interesse comune, 6 settembre 2018

Le seguenti analisi sono riferite agli interventi del programma triennale 2018-2020 dell'edilizia scolastica dell'Emilia Romagna, in particolare a quelli dell'annualità 2020. Queste sono servite per la scelta degli istituti scolastici su cui sarà svolta l'attività di progetto.

Nella programmazione triennale sono inserite delle schede con gli interventi suddivisi per Regioni. Per ogni intervento, numerato, è indicato:

- Ente che ha richiesto l'intervento
- Codice identificativo per l'Anagrafe dell'Edilizia Scolastica
- Nome dell'istituto scolastico oggetto di intervento
- Tipologia dell'intervento
- Il livello di progettazione dell'intervento
- Importo di finanziamento richiesto
- Cofinanziamento se presente
- Importo totale dell'intervento

Con gli ultimi aggiornamenti dell'annualità 2020 gli interventi riferiti all'Emilia Romagna risultano 545³⁴, per un totale di 744.793.809,75 € previsti per il totale dei lavori. Tenendo conto dei vari cofinanziamenti, l'importo di finanziamento necessario risulta pari a un importo di 632.153.054,35 €³⁵.

34 Il numero degli interventi differisce da quello indicato sulla Programmazione Triennale (in cui sono indicati 475 interventi), in quanto per le analisi inserite in tesi sono stati conteggiati separatamente i diversi interventi richiesti su uno stesso edificio scolastico per avere un quadro completo rispetto alle tipologie di interventi richiesti.

35 Programmazione Triennale Nazionale unica per gli interventi di edilizia scolastica, triennio 2018-2020, Regione Emilia Romagna

REGIONE EMILIA-ROMAGNA EDILIZIA SCOLASTICA: AGGIORNAMENTO PROGRAMMAZIONE TRIENNALE 2018-2020 ANNUALITÀ 2020										
PROVINCIA DI MODENA										
N.id Annualità	Provincia	Ente	Codice edificio Anagrafe	Istituto scolastico	tipologia intervento	livello di progettazione	importo di finanziamento richiesto	Cofinanziamento (se presente)	Importo intervento	
66	MODENA	COMUNE DI SESTOLA	0360431234	Scuola sec. I grado "Giovanni XXIII"	Interventi finalizzati all'ottenimento del certificato di agibilità delle strutture	Progetto di fattibilità tecnico-economica	68.400,00	17.100,00	85.500,00	
67	MODENA	COMUNE DI MODENA	0360230101	Scuola Secondaria I grado "San Carlo" - Scuola Primaria "Pascoli"	Adeguamento alla normativa antincendio	Progetto di fattibilità tecnico-economica	437.500,00	187.500,00	625.000,00	
68	MODENA	COMUNE DI VIGNOLA	0360460582	Scuola infanzia "H.C.Andersen"	Adeguamento normativo servizi igienici e abbattimento barriere architettoniche	Progetto di fattibilità tecnico-economica	70.000,00	30.000,00	100.000,00	
69	MODENA	COMUNE DI MODENA	0360230117	Scuola Primaria "Gramsci"	Adeguamento alla normativa antincendio	Progetto di fattibilità tecnico-economica	249.620,00	106.980,00	356.600,00	
70	MODENA	COMUNE DI MODENA	0360230109	Scuola Primaria "Emilio Po"	Adeguamento alla normativa antincendio	Progetto di fattibilità tecnico-economica	164.220,00	70.380,00	234.600,00	
71	MODENA	COMUNE DI MODENA	0360230104	Scuola Primaria "De Amicis"	Adeguamento alla normativa antincendio	Progetto di fattibilità tecnico-economica	256.620,00	109.980,00	366.600,00	
72	MODENA	COMUNE DI SPILAMBERTO	0360450249	Scuola secondaria I grado "S.Fabriziani"	Nuovo edificio	Studio di fattibilità	3.439.390,50	1.474.024,50	4.913.415,00	
73	MODENA	COMUNE DI MODENA	0360232015	Scuola Secondaria I Grado "Mattarella" Scuola primaria "Bodari"	Nuovo edificio	Studio di fattibilità	4.000.000,00	2.000.000,00	6.000.000,00	
74	MODENA	COMUNE DI RAVARINO	0360340150	Scuola secondaria I grado - Ravarino	Nuovo edificio - secondo stralcio	Progetto di fattibilità tecnico-economica	348.275,20	87.068,80	435.344,00	
75	MODENA	CASTELNUOVO RANGONE	0360070283	Scuola sec. I grado "Giacomo Leopardi"	Sostituzione serramenti piano terra	Progetto esecutivo	184.415,00	79.035,00	263.450,00	
76	MODENA	COMUNE DI SASSUOLO	0360400737	Scuola Secondaria I Grado "Primo Levi"	Efficiamento energetico - Sostituzione serramenti	Progetto esecutivo	225.400,00	96.600,00	322.000,00	
77	MODENA	COMUNE DI CAMPOGALLIANO	0360030099	Scuola Primaria "Guglielmo Marconi"	Intervento riqualificazione energetica (secondo stralcio)	Progetto di fattibilità tecnico-economica	585.040,00	146.260,00	731.300,00	
78	MODENA	COMUNE DI GUGLIA	0360170090	Istituto comprensivo "R.Montecuccoli"	Ristrutturazione palestra	Progetto di fattibilità tecnico-economica	144.000,00	36.000,00	180.000,00	
79	MODENA	COMUNE DI MARANELLO	0360190844	Scuola primaria "Gianni Rodari"	Efficiamento Energetico e Messa in sicurezza dei serramenti esterni	Studio di fattibilità	333.900,00	143.100,00	477.000,00	
80	MODENA	CASTELNUOVO RANGONE	0360070284	Scuola sec. I grado "Leopardi" (Palestra)	Riqualificazione centrale termica	Progetto esecutivo	61.390,00	26.310,00	87.700,00	
81	MODENA	COMUNE DI MARANELLO	0360190297	Scuola secondaria I grado "Ferrari - Gallieri"	Efficiamento Energetico II° stralcio	Studio di fattibilità	401.261,00	171.969,00	573.230,00	
82	MODENA	COMUNE DI SASSUOLO	0360400224	Scuola primaria "Luigi Capuana"	Manutenzione straordinaria ed efficientamento energetico	Progetto di fattibilità tecnico-economica	179.200,00	76.800,00	256.000,00	
83	MODENA	COMUNE DI SESTOLA	0360431234	Scuola primaria Raimondo Montecuccoli	Recupero funzionale aule	Studio di fattibilità	128.000,00	32.000,00	160.000,00	
TOTALE								71.608.796,06	21.803.198,23	93.411.994,29

Scheda tipo Programmazione Triennale Edilizia scolastica

Fonte: Edilizia Scolastica: Aggiornamento Programmazione Triennale 2018-2020, Allegato 1, Provincia di Modena

Principali linee di finanziamento per l'edilizia scolastica

Fondo unico per l'edilizia scolastica

Il Fondo unico per l'edilizia scolastica viene creato nel 2012, con il Decreto Legislativo 179/2012 "Ulteriori misure urgenti per la crescita del Paese³⁶". In base al decreto, il Fondo contiene tutte le risorse per i finanziamenti degli interventi di edilizia scolastica inseriti nel bilancio dello Stato. Nel 2019 viene dedicata una sezione del Fondo per finanziare interventi urgenti di miglioramento e adeguamento sismico, messa in sicurezza e efficientamento energetico degli edifici scolastici pubblici; le cui risorse sono pari a 5 milioni di euro per l'annualità 2019 e a 10 milioni di euro annui dal 2020 al 2025.

36 D.L. 179/2012, Ulteriori misure urgenti per la crescita del Paese

Mutui BEI

Il Decreto Legislativo 104/2013 "Misure urgenti in materia di istruzione, università e ricerca³⁷", con una modifica tramite la Legge 107/2015 "Riforma del sistema nazionale di istruzione e formazione e delega per il riordino delle disposizioni legislative vigenti³⁸" ha esteso la possibilità per le regioni di stipulare mutui trentennali con oneri di ammortamento a carico dello Stato con la Banca degli Investimenti Europei (BEI). I mutui sono stati estesi per permettere la realizzazione di interventi di: manutenzione e ristrutturazione straordinaria, miglioramento e adeguamento sismico, costruzione di nuovi edifici ed efficientamento energetico.

Successivamente, con il Decreto Legislativo 86/2018 "Disposizioni urgenti in materia di riordino delle attribuzioni dei Ministeri dei beni e delle attività³⁹" culturali e del turismo, delle politiche agricole alimentari e forestali e dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare, nonché in materia di famiglia e disabilità" ha esteso anche per le programmazioni uniche triennali nazionali successive a quella del triennio 2015/2017 di stipulare mutui trentennali con oneri di ammortamento totalmente a carico dello Stato.

37 D.L. 104/2013, Misure urgenti in materia di istruzione, università e ricerca

38 L. 107/2015, Riforma del sistema nazionale di istruzione e formazione e delega per il riordino delle disposizioni legislative vigenti

39 D.L. 86/2018, Disposizioni urgenti in materia di riordino delle attribuzioni dei Ministeri dei beni e delle attività

Piano straordinario per l'adeguamento alla normativa antincendio delle scuole

Nel 2019, con il Decreto Legislativo 59/2019 "Misure urgenti in materia di personale delle fondazioni lirico sinfoniche, di sostegno del settore del cinema e audiovisivo e finanziamento delle attività del Ministero per i beni e le attività culturali⁴⁰", viene definito un piano straordinario per l'adeguamento alla normativa antincendio degli edifici scolastici. Nello specifico, con il Decreto del Ministro dell'Istruzione del 13 febbraio 2019, vengono suddivisi tra le regioni dei contributi pari a 114.160.000,00 euro finalizzati all'adeguamento della normativa antincendio⁴¹.

Risorse del Fondo per interventi straordinari della Presidenza del Consiglio

Dal 2018, con il Decreto Legislativo 86/2018 "Disposizioni urgenti in materia di riordino delle attribuzioni dei Ministeri dei beni e delle attività culturali e del turismo, delle politiche agricole alimentari e forestali e dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare, nonché in materia di famiglia e disabilità⁴²" le risorse del Fondo per interventi straordinari della Presidenza del Consiglio riferite a interventi di adeguamento alla normativa antisismica, nonché miglioramento sismico e strutturale, e di costruzione di nuovi edifici in sostituzione a quelli esistenti (specialmente per le sostituzioni di immobili a rischio sismico), venivano suddivise con la programmazione triennale unica nazionale degli interventi di edilizia scolastica. Le risorse in questione sono pari a 80 milioni di euro per il quadriennio 2018-2021. Grazie a questa integrazione gli interventi non dovevano più essere individuati e definiti con appositi decreti.

40 D.L. 59/2019, Misure urgenti in materia di personale delle fondazioni lirico sinfoniche, di sostegno del settore del cinema e audiovisivo e finanziamento delle attività del Ministero per i beni e le attività culturali

41 Decreto MIUR n. 101 del 13 febbraio 2019, Reparto risorse, Individuazione interventi e termini di aggiudicazione, Modalità di rendicontazione e monitoraggio, Revocche e controlli per l'utilizzo dei finanziamenti per interventi di adeguamento alla normativa antincendio

42 D.L. 86/2018, Disposizioni urgenti in materia di riordino delle attribuzioni dei Ministeri dei beni e delle attività culturali e del turismo, delle politiche agricole alimentari e forestali e dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare, nonché in materia di famiglia e disabilità

Contributi a Province e Regioni

La Legge di Bilancio del 2019 (in particolare con riferimento alla Legge 145/2018 "Bilancio di previsione dello Stato per l'anno finanziario 2019 e bilancio pluriennale per il triennio 2019-2021⁴³") prevede, dal 2019 al 2033, un contributo di 250 milioni di euro all'anno per finanziare piani di sicurezza pluriennali per favorire la manutenzione delle scuole (oltre che delle infrastrutture principali). Questi contributi sono usufruibili dalle Province e dalle Regioni a statuto ordinario.

Nel 2020, con il DPCM 7 luglio 2020 "Finanziamento degli interventi di manutenzione straordinaria e incremento dell'efficienza energetica delle scuole di province e città metropolitane⁴⁴", venivano definiti due specifici criteri per l'assegnazione delle risorse agli enti locali: il numero degli alunni degli istituti scolastici di secondo grado, nella misura del 50%; il numero degli edifici scolastici pubblici per le scuole secondarie di secondo grado, nella misura del 50%. Le province e le città metropolitane dovevano presentare al Ministero dell'Istruzione la lista degli interventi da realizzarsi, nei limiti delle risorse a cui possono attingere, non oltre quaranta giorni dall'adozione del decreto interministeriale che individua gli importi riferiti a ogni ente. Gli interventi inseriti vengono individuati sulla base della programmazione triennale 2018-2020, nell'ambito di interventi necessari all'adeguamento e al miglioramento sismico di edifici posti in zona sismica 1 e 2, alla messa in sicurezza di solai e altri interventi urgenti in materia di agibilità delle strutture.

43 L. n. 145 del 30 dicembre 2018, Bilancio di previsione dello Stato per l'anno finanziario 2019 e bilancio pluriennale per il triennio 2019-2021

44 Decreto del Presidente del Consiglio del 7 luglio 2020, Finanziamento degli interventi di manutenzione straordinaria e incremento dell'efficienza energetica delle scuole di province e città metropolitane

Annualità 2020

Con il Decreto Ministeriale n. 87 del 2019⁴⁵ si autorizzano le regioni all'utilizzo dei contributi pluriennali (mutui BEI) per gli interventi di edilizia scolastica indicati nel programma triennale delle annualità 2018-2020. Nell'Allegato 1 del suddetto decreto viene indicato per ogni regione l'importo del finanziamento concesso.

REGIONE	IMPORTO COMPLESSIVO €
ABRUZZO	51.822.393,30
BASILICATA	29.698.508,70
CALABRIA	89.173.545,40
CAMPANIA	171.527.181,80
EMILIA ROMAGNA	108.478.729,30
FRIULI VENEZIA GIULIA	42.084.878,70
LAZIO	140.218.413,50
LIGURIA	40.398.688,20
LOMBARDIA	224.806.117,60
MARCHE	53.135.402,70
MOLISE	18.517.618,90
PIEMONTE	117.913.930,70
PUGLIA	113.543.653,30
SARDEGNA	58.406.461,40
SICILIA	156.953.394,60
TOSCANA	104.984.256,50
UMBRIA	37.825.759,00
VALLE D'AOSTA	9.094.479,80
VENETO	131.416.586,60
TOTALE	1.700.000.000,00

Importo del finanziamento per regione

Fonte: Rielaborazione di dati da Allegato 1 del D.M 87/2019

45 D.M. n. 87 del 1 febbraio 2019, Autorizzazione dei contributi pluriennali

Successivamente con il Decreto Ministeriale 42/2020⁴⁶ vengono modificati i piani autorizzati dal decreto precedentemente citato (D.M. 87/2019). Nell'Allegato A del D.M. 42/2020 si trovano aggiornamenti per 14 regioni (Basilicata, Calabria, Campania, Emilia Romagna, Friuli Venezia Giulia, Lazio, Lombardia, Marche, Piemonte, Puglia, Sardegna, Toscana, Umbria e Veneto) con indicazioni riguardanti gli interventi inseriti dal Programma triennale unico nazionale dell'edilizia scolastica da eseguirvi con il finanziamento indicato nel D.M. 87/2019 ed eventualmente qui incrementato.

REGIONE	n°	IMPORTO COMPLESSIVO €
BASILICATA	18	27.078.052,05
CALABRIA	46	80.415.656,52
CAMPANIA	61	153.061.271,55
EMILIA ROMAGNA	104	98.894.076,72
FRIULI VENEZIA GIULIA	28	38.371.507,05
LAZIO	54	122.097.868,53
LOMBARDIA	149	190.771.909,48
MARCHE	23	42.087.692,31
PIEMONTE	68	107.429.715,55
PUGLIA	49	103.479.751,36
SARDEGNA	90	53.210.340,29
TOSCANA	15	95.720.939,7
UMBRIA	28	34.488.192,03
VENETO	91	119.821.005,43

Importo del finanziamento per regione

Fonte: Rielaborazione di dati da Allegato 1 del D.M 42/2019

46 D.M. 42/2020, Modifica dei piani autorizzati con decreto del decreto del Ministro dell'istruzione, dell'università e della ricerca

Con il Decreto Ministeriale n. 175 del 2020⁴⁷ (10 marzo 2020) viene ripartito tra le regioni un importo di 510.000.000,00 €, destinato al Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca dal Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri del 28 novembre 2018. Il finanziamento è utilizzabile per gli interventi compresi nella Programmazione Triennale Unica Nazionale del triennio 2018-2020 e risulta così suddiviso tra le regioni:

REGIONE	IMPORTO COMPLESSIVO €
ABRUZZO	16.583.403,29
BASILICATA	9.729.347,08
CALABRIA	27.761.299,90
CAMPANIA	51.314.283,50
EMILIA ROMAGNA	32.525.556,31
FRIULI VENEZIA GIULIA	12.636.560,13
LAZIO	42.052.127,67
LIGURIA	11.357.954,74
LOMBARDIA	66.921.250,48
MARCHE	15.951.484,81
MOLISE	5.564.598,00
PIEMONTE	34.446.759,99
PUGLIA	33.906.846,45
SARDEGNA	17.536.160,73
SICILIA	47.110.861,59
TOSCANA	31.103.267,79
UMBRIA	11.325.372,23
VALLE D'AOSTA	2.734.562,88
VENETO	39.438.302,43
TOTALE	510.000.000,00

Importo del finanziamento per regione

Fonte: Rielaborazione di dati da Allegato 1 del D.M 175/2020

47 D.M. n. 175 del 2020, Riparto risorse finanziamento Piano 2019

Il Decreto Ministeriale n. 71 del 2020⁴⁸ (25 luglio 2020) aggiunge una seconda fase al precedente D.M. 175/2020. L'importo è di 320.000.000,00 € ed è destinabile sempre agli interventi del Programma Triennale riferito all'annualità 2020. Viene indicato l'importo per ogni regione e sono indicati gli interventi realizzabili con il suddetto finanziamento.

REGIONE	n°	IMPORTO COMPLESSIVO €
ABRUZZO	2	11.032.723,63
BASILICATA	5	6.104.688,36
CALABRIA		
CAMPANIA	12	29.251.837,70
EMILIA ROMAGNA	32	20.387.478,90
FRIULI VENEZIA GIULIA	3	7.928.822,04
LAZIO	23	26.258.472,42
LIGURIA	3	7.126.559,83
LOMBARDIA	19	40.218.673,32
MARCHE	13	10.008.774,77
MOLISE	7	3.391.512,46
PIEMONTE	15	21.461.108,00
PUGLIA	14	21.174.884,04
SARDEGNA	10	10.003.081,24
SICILIA	13	29.127.485,08
TOSCANA	2	19.515.775,86
UMBRIA	2	7.106.115,90
VALLE D'AOSTA	2	1.715.804,16
VENETO	25	24.645.601,52
TOTALE		320.000.000,00

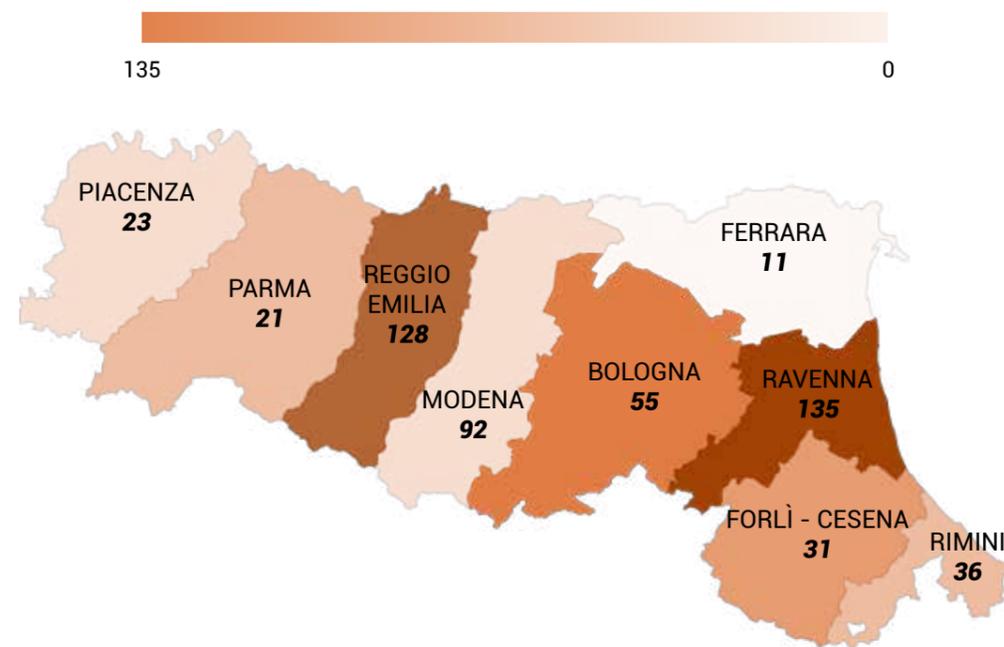
Importo del finanziamento per regione

Fonte: Rielaborazione di dati da Allegato 1 del D.M 71/2019

48 D.M. n. 71 del 2020, riparto seconda trancia di risorse del finanziamento attuato dal D.M. 175 del 2020

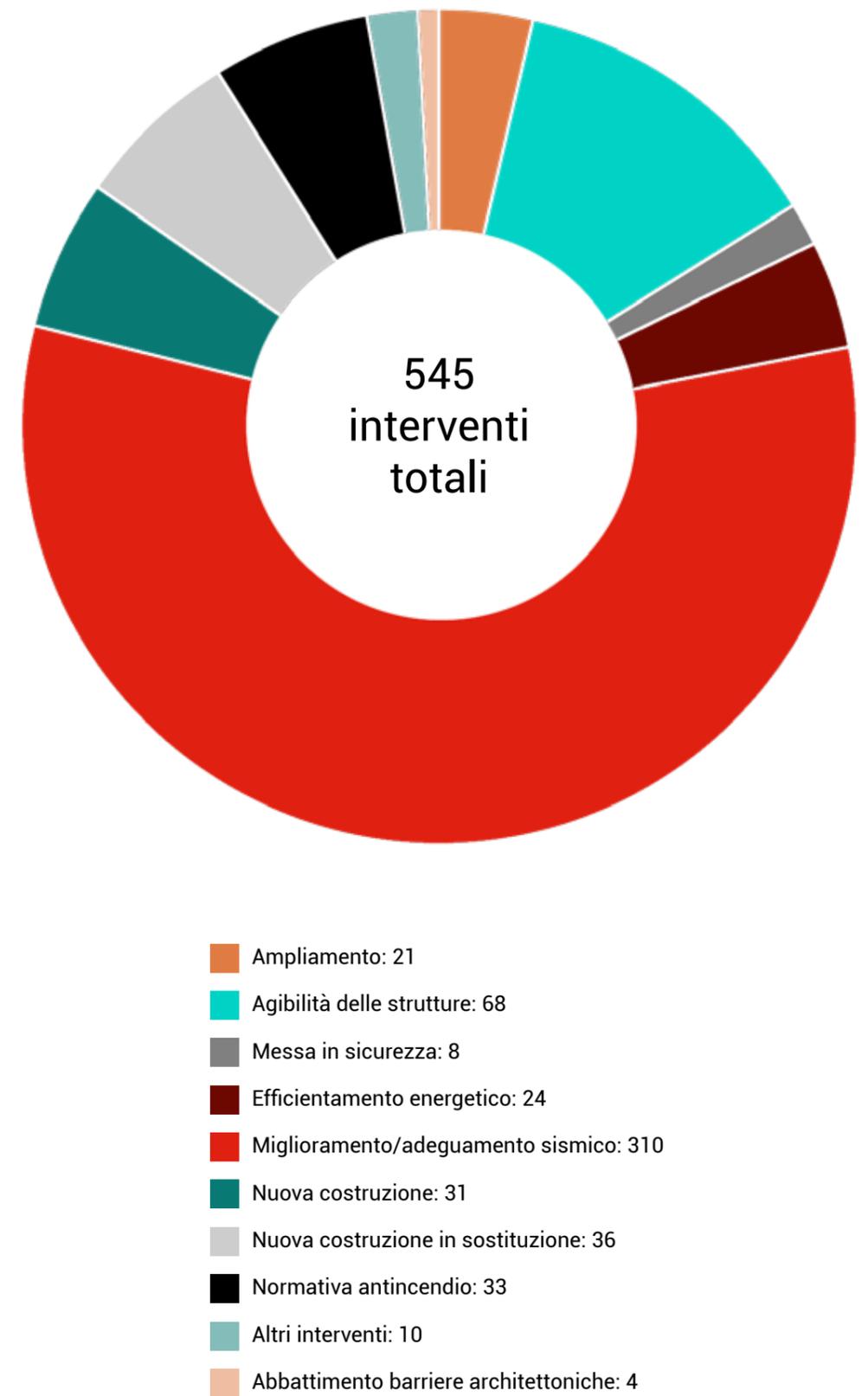
Numero di interventi richiesti per Regione

Fonte: Elaborazione di dati dalla Programmazione Triennale sull'Edilizia Scolastica 2018-2020, Emilia Romagna



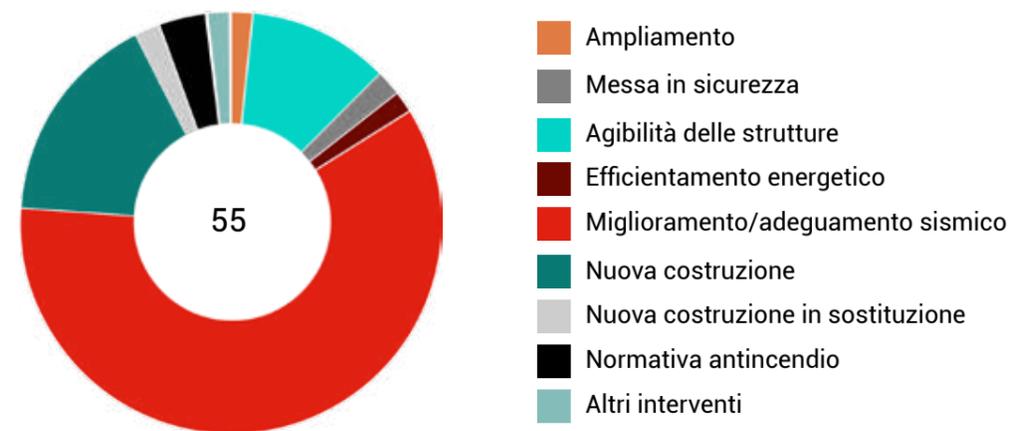
A fianco: Tipologie interventi richiesti dalle scuole

Fonte: Elaborazione di dati dalla Programmazione Triennale sull'Edilizia Scolastica 2018-2020, Emilia Romagna



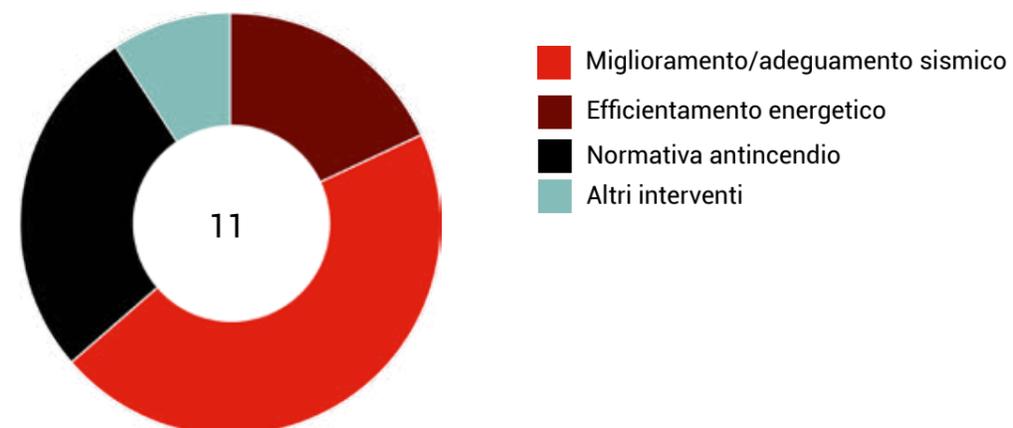
Bologna

La città metropolitana di Bologna conta 55 interventi in totale. Di questi 33 sono interventi di miglioramento sismico, di cui 12 di adeguamento alla normativa antisismica. Vi sono inoltre: 1 ampliamento, 6 interventi che riguardano l'agibilità delle strutture, 1 intervento di efficientamento energetico, 9 nuove costruzioni, 1 nuova costruzione in sostituzione, 2 interventi di adeguamento alla normativa antincendio e uno di altra natura. L'importo totale degli interventi ammonta a 124.809.070,53 €.



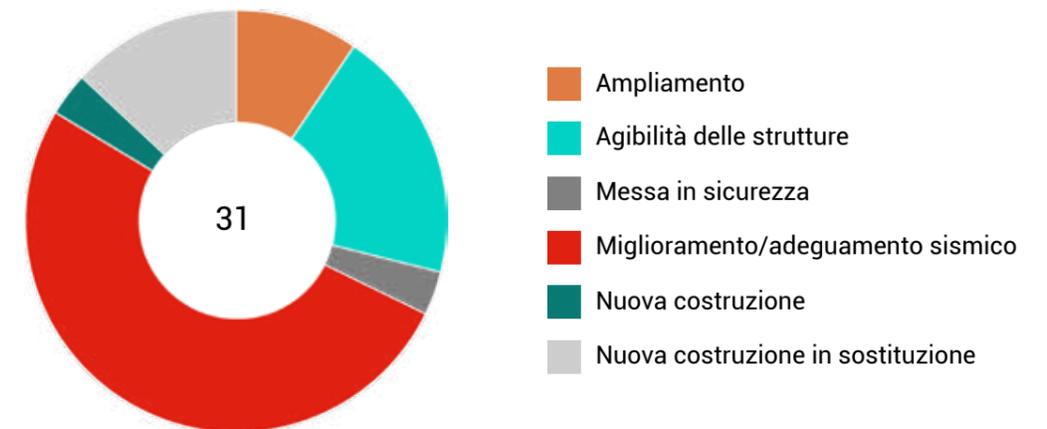
Ferrara

La provincia di Ferrara conta 11 interventi. Di questi 5 sono di adeguamento alla normativa antisismica, 3 di adeguamento alla normativa antincendio, 2 di efficientamento energetico e uno di altra natura. L'importo totale dell'intervento ammonta a 9.292.845,69 €.



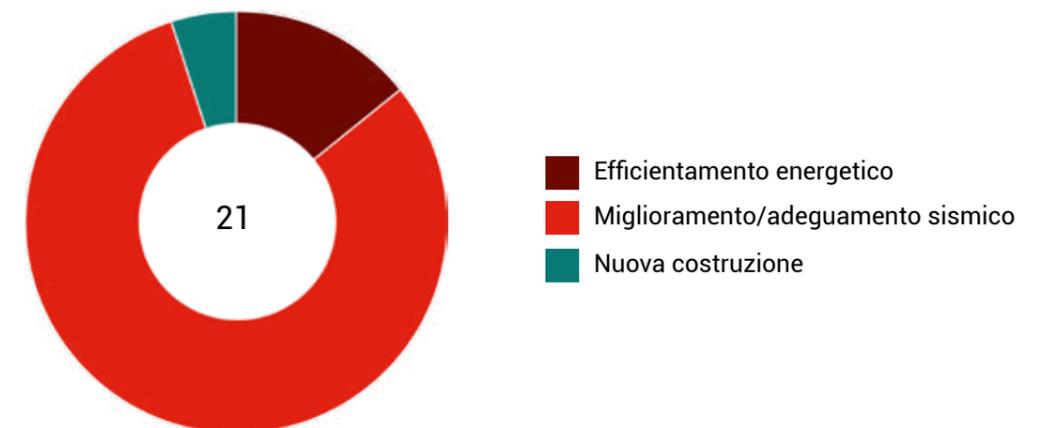
Forlì - Cesena

La provincia di Forlì - Cesena conta 31 interventi in totale. Di questi 16 riguardano la sismica, in particolare 12 di questi sono di adeguamento alla normativa antisismica. Degli altri 3 sono ampliamenti, 6 interventi servono per richiedere l'agibilità delle strutture, 1 intervento di messa in sicurezza, 1 nuova costruzione e 4 nuove costruzioni in sostituzione. L'importo totale degli interventi è pari a 39.479.000,00 €.



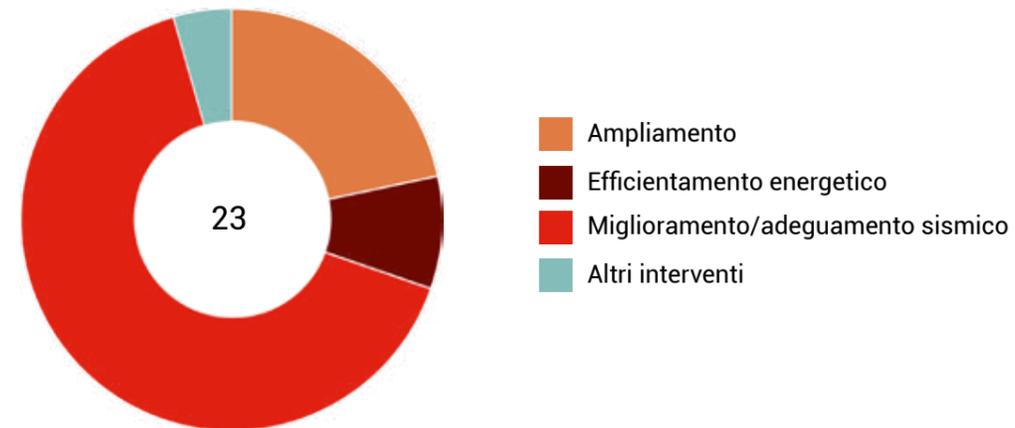
Parma

La provincia di Parma conta 21 interventi. Di questi 13 sono di adeguamento alla normativa antisismica e 4 di miglioramento sismico. 3 interventi sono di efficientamento energetico e 1 di nuova costruzione; per un importo totale necessario di 22.250.314,02 €.



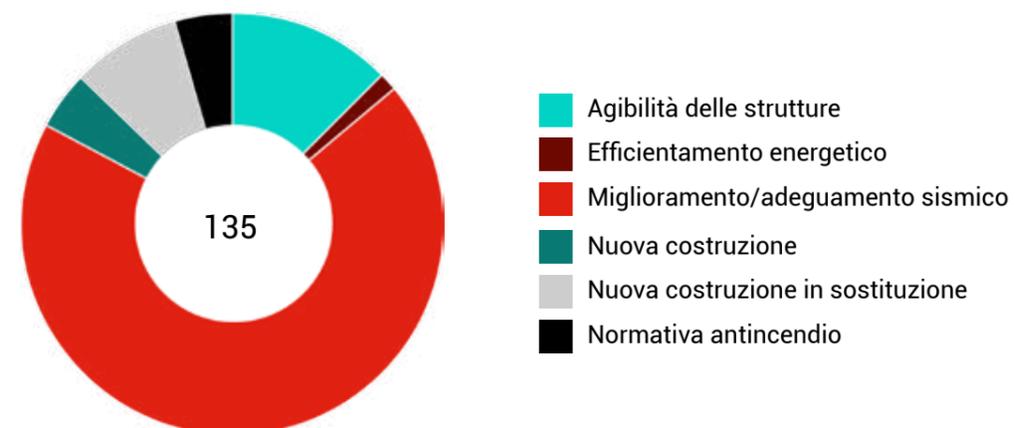
Piacenza

La provincia di Piacenza conta 23 interventi in totale. 15 di questi sono di miglioramento sismico, 5 interventi prevedono ampliamenti, 2 servono per richiedere l'agibilità delle strutture e 1 riguarda altri interventi. L'importo necessario per gli interventi è di 45.683.760,04 €.



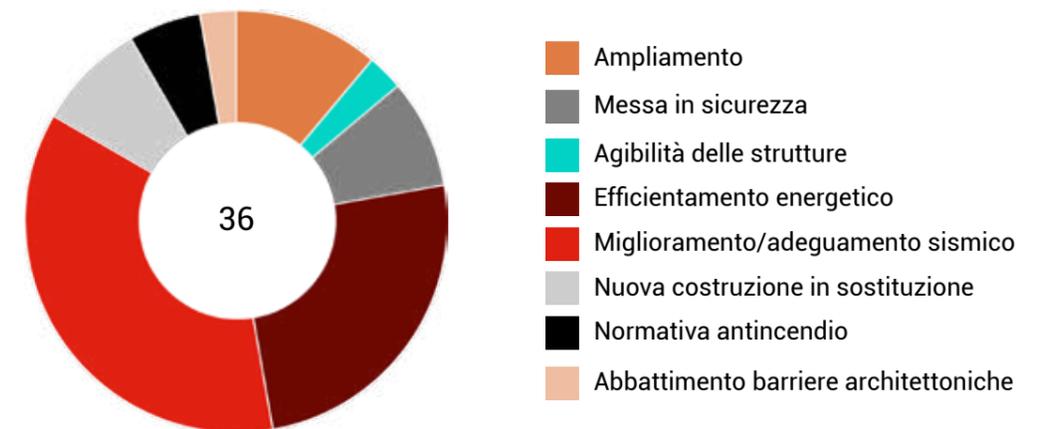
Ravenna

Ravenna è la provincia che ha richiesto più interventi dell'Emilia Romagna, per un totale di 135 interventi. Di questi 93 riguardano la sismica: 82 sono di adeguamento alla normativa e i restanti 11 di miglioramento sismico. 17 interventi servono per richiedere l'agibilità delle strutture, 6 sono per adeguamento alla normativa antincendio e 2 di efficientamento energetico. Inoltre vi sono 6 nuove costruzioni e 11 nuove costruzioni in sostituzione. L'importo totale per gli interventi ammonta a 214.458.331,55 €.



Rimini

La provincia di Rimini richiede 36 interventi. Di questi 3 sono di miglioramento sismico e 10 di adeguamento alla normativa antisismica. 3 interventi sono di messa in sicurezza, 9 di efficientamento energetico, 1 di agibilità delle strutture, 2 di adeguamento alla normativa antincendio e 1 di abbattimento delle barriere architettoniche. Vi sono inoltre 4 ampliamenti e 3 nuove costruzioni in sostituzione. L'importo totale degli interventi è pari a 29.883.335,00 €.



Provincia di Reggio Emilia



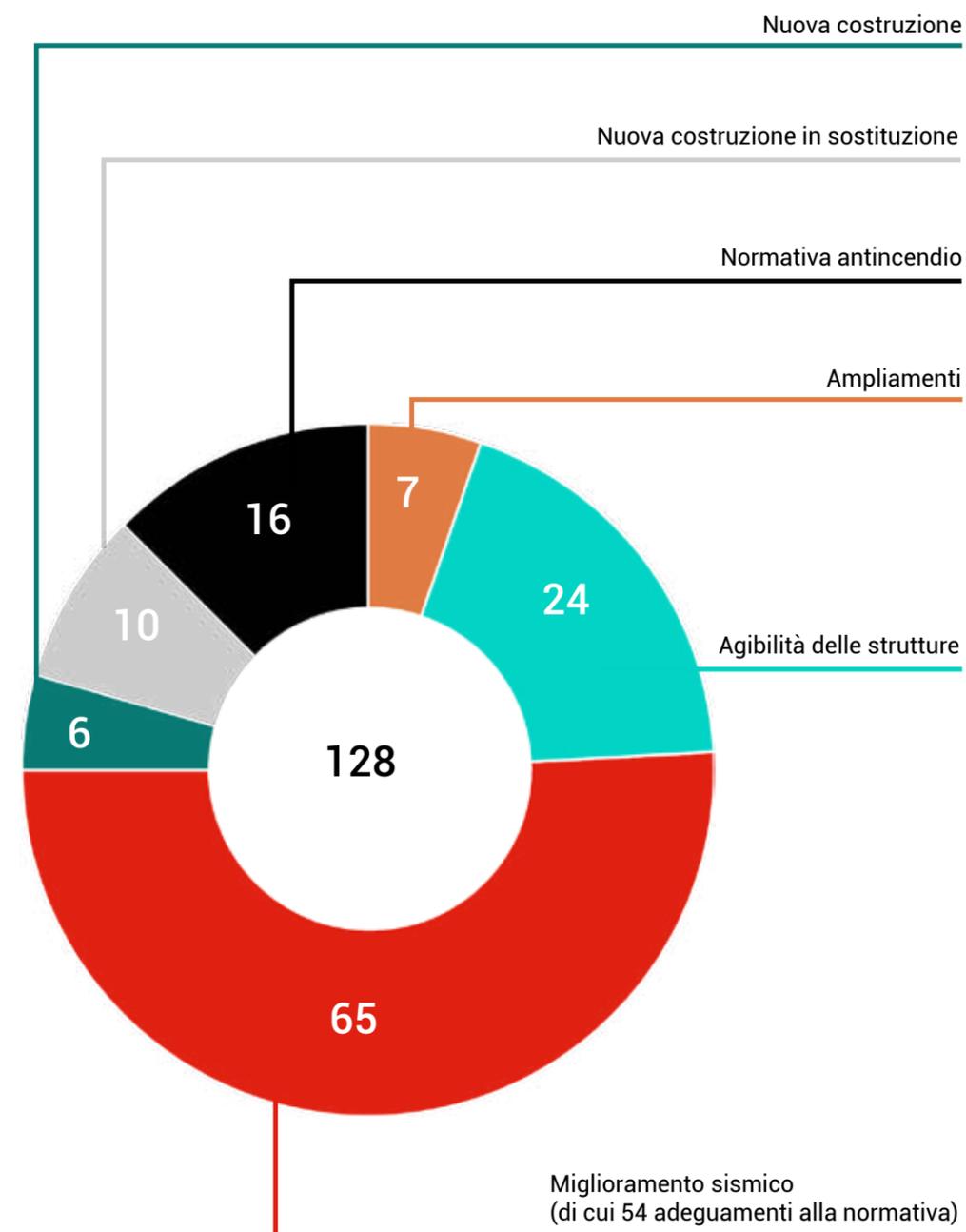
La Provincia di Reggio Emilia conta 128 interventi inseriti nella programmazione triennale nazionale unica dell'edilizia scolastica in riferimento al triennio 2018-2020, in particolare con le revisioni svolte nell'annualità 2020.

Il grafico mostra la tipologia e il relativo numero di interventi inseriti nel programma triennale.

Tra gli interventi riferiti alla Provincia di Reggio Emilia, è stato scelto come intervento un ampliamento. Si tratta di un intervento di miglioramento funzionale dell'atrio, miglioramento sismico e ampliamento di un'aula polifunzionale che possa svolgere anche funzione di sala civica, per la scuola media G. B. Toschi di Baiso, un piccolo paese sui primi monti reggiani.

Interventi provincia di Reggio Emilia

Fonte: Elaborazione di dati dalla Programmazione Triennale sull'Edilizia Scolastica 2018-2020, Reggio Emilia



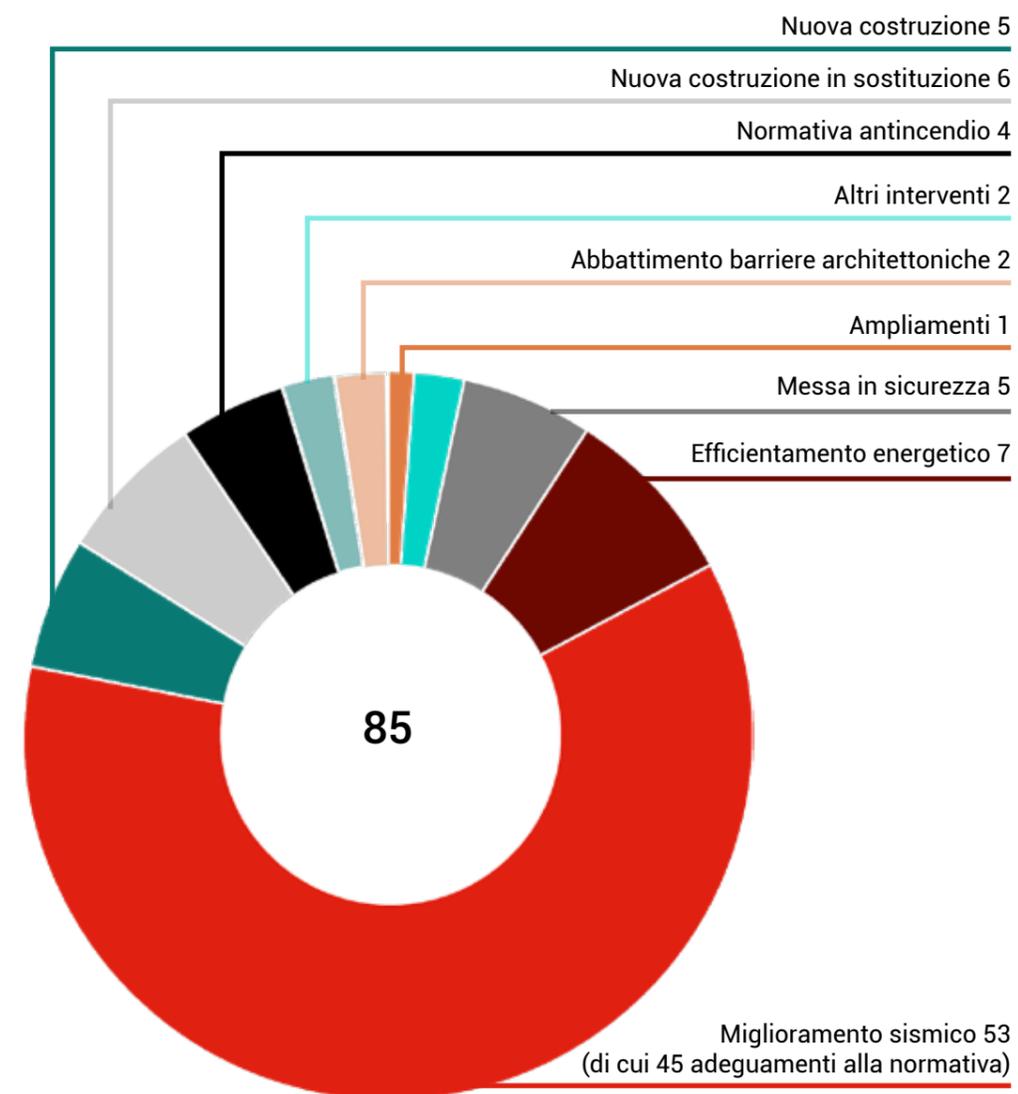
Provincia di Modena



La Provincia di Reggio Emilia conta 128 interventi inseriti nella programmazione triennale nazionale unica dell'edilizia scolastica in riferimento al triennio 2018-2020, in particolare con le revisioni svolte nell'annualità 2020. Il grafico mostra la tipologia e il relativo numero di interventi inseriti nel programma triennale.

Interventi provincia di Modena

Fonte: Elaborazione di dati dalla Programmazione Triennale sull'Edilizia Scolastica 2018-2020, Modena



capitolo2

MODULO PREFABBRICATO

2.1 COSTRUZIONE MODULARE PREFABBRICATA

La tecnica della prefabbricazione industriale si sviluppò quando, con la fine della Seconda Guerra Mondiale e le devastazioni che ne derivarono, fu necessario ricostruire le città; ma per farlo era necessario rendere più produttiva la costruzione edilizia.

Le radici della prefabbricazione possono però collocarsi nel XVI secolo, quanto i coloni inglesi avevano necessità di organizzare degli insediamenti in modo rapido e, non essendo a conoscenza delle tecniche e dei materiali da costruzione dei paesi da colonizzare, realizzavano i componenti delle costruzioni direttamente in Inghilterra facendoli poi spedire nelle loro colonie.

Il primo vero esempio di costruzione prefabbricata risale al 1830, quando H. John Manning, un costruttore inglese, progettò un cottage per il figlio che doveva emigrare in Australia. "The Portable Cottage"¹ era una costruzione formata da un insieme di strutture in legno prefabbricate e da elementi di riempimento standardizzati e intercambiabili. Si trattava di un cottage di facile realizzazione e grande versatilità, pensato per essere convertito in altre funzioni, ad esempio ospedali, scuole e magazzini.

Successivamente, con l'era industriale, si verificò una progressiva valorizzazione di materiali da costruzione come calcestruzzo e acciaio, che contribuì allo sviluppo e alla storia della prefabbricazione. Elementi come architravi, finestre, pilastri, travi e capriate venivano prodotte in una fonderia e fabbricati in un'officina.

All'inizio del XX secolo in Nord America nel boom della rivoluzione industriale si era sviluppata l'idea di produrre dei "kit" per la costruzione di case prefabbricate in legno. Era necessario produrre alloggi economici e facilmente e rapidamente costruibili, così vennero messi sul mercato dei sistemi in cui tutto il legno necessario per costruire una casa veniva prefabbricato in un'officina e consegnato sul luogo di montaggio. Questo processo permise di ridurre gli sprechi associati alla costruzione in loco, aumentando la velocità di produzione e migliorandone la precisione.

¹ H. John Manning, The Portable Cottage, 1830, Inghilterra

Grazie alla prefabbricazione di ferro e calcestruzzo armato l'industria inizia ad orientarsi nella prospettiva della razionalizzazione, della produzione in serie e di massa; si iniziano a realizzare solette, pareti divisorie e pilastri prefabbricati. Le basi di questo sviluppo vennero poste anche da Le Corbusier, il quale nel 1914 progettò la Maison Domino², un sistema di prefabbricati in serie di beton, costituito da piloni e solette, che rivoluzionerà quelle che erano le tecniche di costruzione dell'epoca.

I primi tentativi di costringere l'industria delle costruzioni ad adottare sistemi di prefabbricazione si sono rilevati piuttosto dannosi. La mancanza di strumenti per integrare la costruzione alla prefabbricazione industriale dei diversi materiali da costruzione fece sì che tale industria non riuscisse a decollare. Il clima che si respirava nell'ambito della prefabbricazione non era positivo e questo perdurò fino al dopoguerra, quando finalmente qualcosa cambiò. Dopo la Seconda Guerra Mondiale si passò da una domanda di case a una domanda di interi quartieri; da una domanda di singoli edifici a una domanda di centri direzionali; dalla realizzazione di ponti all'esecuzione in serie di viadotti autostradali e ferroviari. Si è passati ad intendere la prefabbricazione come metodo di costruzione per razionalizzare i processi e quindi contenere i costi.

² Le Corbusier, Maison Domino, 1914, Francia

2.2 PADIGLIONI SCOLASTICI MODULARI, SVIZZERA

In Svizzera, fin dal 1900, venivano realizzati padiglioni scolastici modulari simili a caserme, che si evolsero fino ai giorni nostri con il più moderno padiglione “Züri Modular” di seconda generazione dello studio Berner Bauart Architects.

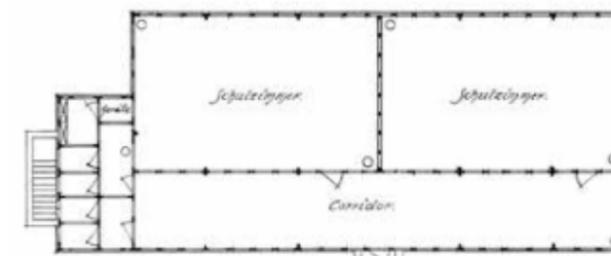
A fianco: Berner Bauart Architects, Züri Modular 2nd Generation, 2012



Fissler Pavillon Dopo la fine della Prima Guerra Mondiale la rapida crescita della popolazione porta a una carenza di alloggi e aule scolastiche. Nel contempo, dovevano essere costruiti anche costosi edifici amministrativi e altre strutture pubbliche, ragion per cui si decide di utilizzare delle strutture temporanee in legno per la realizzazione delle scuole. Questi padiglioni erano costituiti da pareti, pavimenti e tetto che potevano essere completamente smontati in modo che la struttura potesse essere ricostruita più volte con la stessa conformazione in luoghi diversi. Il primo prototipo di padiglione scolastico modulare venne progettato dal costruttore Friedrich Fissler, che costruì nel 1904 le prime tre "caserme" prefabbricate. Il consiglio comunale di Zurigo fu entusiasta del progetto e ne commissionò altri sette, completati nel 1908. Il punto di forza del progetto consisteva nella possibilità dello smantellamento completo della struttura, rendendo possibile la ricostruzione senza perdita di materiale³.



Friedrich Fissler Pavillon, 1903 - 1912, Zurigo



Friedrich Fissler Pavillon, pianta



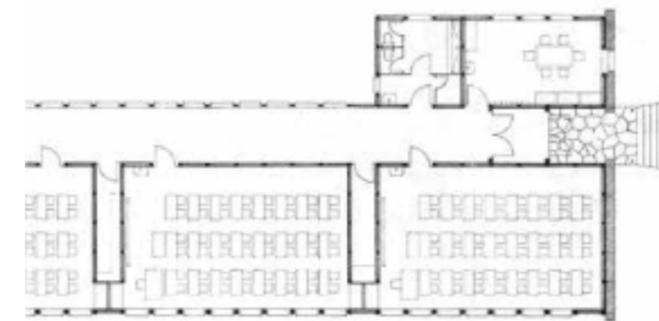
Friedrich Fissler Pavillon, sezione

3 F. Martin, A. Höller, Schulpavillons, Zurigo, 2017

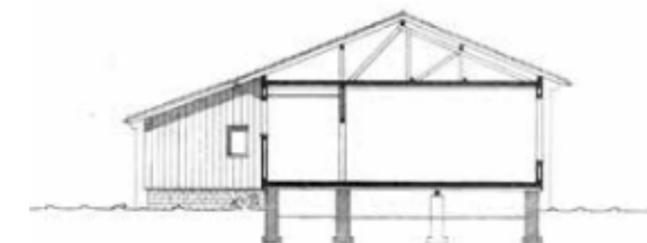
Steiner Pavillon Durante la Seconda Guerra Mondiale si ha un'interruzione dell'attività edilizia e un aumento della popolazione. L'architetto della città, Albert Heinrich Steiner, propone progetti di padiglioni scolastici di diverse dimensioni. Il più piccolo era costituito da una costruzione su un piano con tre o quattro classi. I padiglioni di Steiner erano pensati come ampliamenti degli edifici scolastici esistenti, ma successivamente vennero realizzati edifici fissi con lo stesso progetto. La struttura è sempre in legno, mentre le facciate potevano essere rivestite in pietra di cava, gesso bianco o pietra arenaria per differenziare la tipologia di padiglione (per classi primarie o secondarie)⁴.



Albert Heinrich Steiner Pavillon, 1946 – 1952, Zurigo



Albert Heinrich Steiner Pavillon, pianta



Albert Heinrich Steiner Pavillon, sezione

⁴ F. Martin, A. Höller, Schulpavillons, Zurigo, 2017

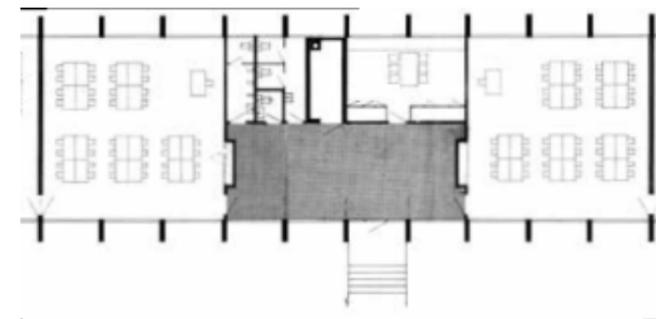
Variel Pavillon Nel dopo guerra si puntò, attraverso i Variel Pavillon, alla costruzione industrializzata. A quel tempo, la costruzione leggera del padiglione aveva ancora l'immagine di una caserma, il che faceva sembrare gli elementi del modulo Variel inferiori rispetto a quelli di altri edifici convenzionali. Nel 1963, con il «Programm 63» Fritz Stucky propone di realizzare i padiglioni scolastici con una costruzione mista in cemento e acciaio. Il sistema di elementi così sviluppato garantiva una maggiore libertà di composizione grazie alle diverse combinazioni di moduli possibili. Tutti gli elementi degli interni venivano realizzati in fabbrica, fino ai pavimenti, pareti, soffitti, termosifoni, finestre e porte. In cantiere una gru sollevava i componenti e li posizionava sulle fondamenta create in anticipo.

Inizialmente, con questo sistema, la costruzione poteva essere realizzata solo su di un piano, ma successivamente, con il programma «Concrete Standard Program» e le nuove ricerche in ambito scientifico sui materiali, ci si poté elevare anche oltre il primo piano. Nonostante il grande potenziale di questo modello, esso venne utilizzato solo per commercializzare scuole-padiglione⁵.

5 F. Martin, A. Höller, Schulpavillons, Zurigo, 2017



Fritz Stucky, Variel Pavillon, 1963 – 1971



Fritz Stucky, Variel Pavillon, pianta

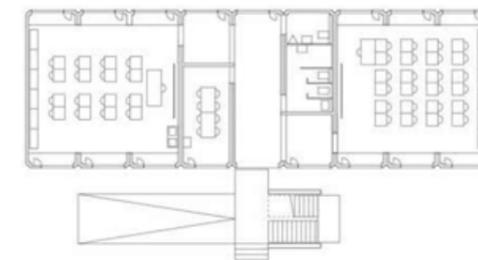


Fritz Stucky, Variel Pavillon, sezione

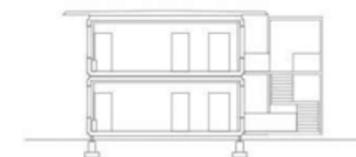


Variel Pavillon brochure, 1963

Züri Modular 1st Generation Alla fine degli anni '90 a Zurigo vi era necessità di realizzare strutture per la formazione, asili e doposcuola. Lo studio Berner Bauart Architects progetta il sistema Züri Modular (ZM), sviluppato sulla base delle conoscenze acquisite dai padiglioni scolastici prefabbricati realizzati in Svizzera nel corso degli anni. Il primo prototipo era costituito da un padiglione unitario suddiviso in due piani identici, con due aule ciascuno, da potersi utilizzare come ampliamento per gli edifici esistenti, rispondendo al bisogno di una costruzione rapida e flessibile di spazi per la formazione. Due moduli costituiscono un'aula di 69 mq, altri due moduli vengono utilizzati come ingresso e servizi igienici e altri moduli "jolly" potevano essere utilizzati come laboratori o spazi docenti⁶.



Berner Bauart Architects, Züri Modular 1st Generation, pianta



Berner Bauart Architects, Züri Modular 1st Generation, sezione

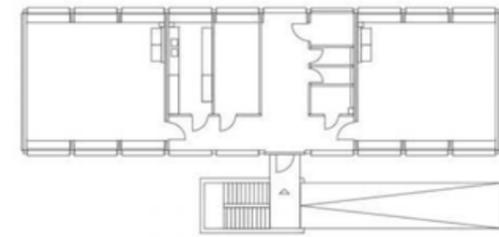


Berner Bauart Architects, Züri Modular 1st Generation, 1998 - 2001

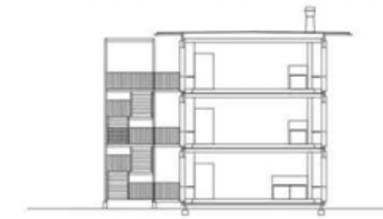
⁶ Züri Modular di prima generazione in <https://bauart.ch/projekte/zueri-modular-1-generation-1998-2011/>

Züri Modular 2nd Generation L'edificio può essere facilmente smontato e spostato in una nuova posizione o combinato con altre strutture modulari. I padiglioni sono costituiti da una struttura in legno e facciate ventilate. I moduli poggiano su fondamenta in calcestruzzo gettato in opera, le pareti portanti sono in legno e rivestite con cartongesso, mentre i solai sono dotati di elementi acustici. La cella della stanza, prodotta in fabbrica, viene qui attrezzata il più possibile. Questo include impianti elettrici ed idraulici, soffitti finiti e rivestimenti murali, finestre, porte, radiatori, tende e sistemi di ombreggiamento già installati in fabbrica. Il tempo di produzione di un padiglione in fabbrica dura circa quattro settimane, mentre la costruzione in loco dai due ai tre giorni. Inizialmente come soluzioni improvvisate per momenti di emergenza, questi padiglioni diventeranno un sistema collaudato e utilizzato più e più volte a Zurigo. Nel 2012 il padiglione di prima generazione viene sviluppato e adattato in modo da soddisfare nuovi requisiti strutturali, ampliandone la planimetria del 10% e consentendo l'aggiunta del terzo piano: venne progettato il padiglione Züri Modular di Seconda Generazione⁷.

⁷ Züri Modular di seconda generazione in <https://www.atlasofplaces.com/architecture/zueri-modular/>



Berner Bauart Architects, Züri Modular 2nd Generation, pianta



Berner Bauart Architects, Züri Modular 2nd Generation, sezione



Berner Bauart Architects, Züri Modular 2nd Generation, 2012



Berner Bauart Architects, Züri Modular 2nd Generation, interni

2.3

CASI STUDIO

HET EPOS SCHOOL SeARCH ROTTERDAM, 2020

In uno dei quartieri più poveri di Rotterdam lo studio olandese SeARCH ha progettato una nuova scuola modulare completamente costruita in legno. Si tratta di un progetto circolare, a "prova di futuro" in quanto è stata pensata per poter essere decostruita e trasferita in un altro luogo con la possibilità di essere ricomposta in modi diversi.

Het Epos School è realizzata con 75 moduli prefabbricati in legno, scelta che ha permesso di ridurre notevolmente i tempi di costruzione in cantiere garantendo di costruire una scuola nuova in pochi mesi. Per aumentare ancora di più il grado di prefabbricazione in fabbrica i servizi igienici sono stati inseriti all'interno della costruzione.

Due ali di aule disposte su due piani (piano terra e primo piano) circondano lo spazio comune centrale composto da una palestra e dall'atrio di ingresso. Qui è stata posta una scala dal duplice utilizzo: collegare il piano terra al primo ed essere allo stesso tempo il "luogo di ritrovo" principale della scuola. La scala infatti è pensata come una tribuna che possa ospitare spettatori in caso di presentazioni o spettacoli ma anche come luogo di ritrovo per tutti gli utenti durante l'orario scolastico.

Questo concetto di flessibilità si ritrova anche nelle aule. Su entrambi i piani sono presenti aule che possono essere unite o divise in unità più piccole, a seconda della tipologia di attività da svolgere.

Oltre alle varie aule il progetto prevede una biblioteca e un laboratorio al piano terra, mentre al primo piano superiore sono presenti una mensa e una sala insegnanti.

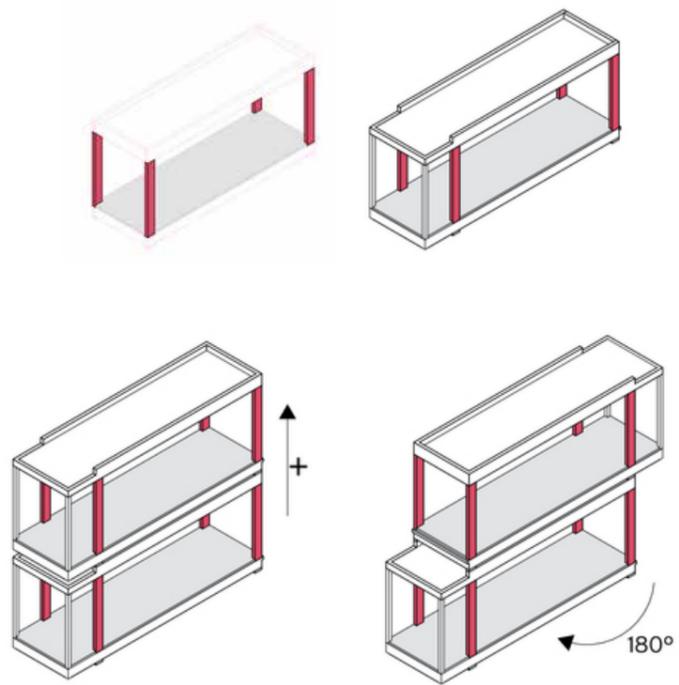
Per offrire un'atmosfera accogliente e fresca all'interno il legno è stato mantenuto faccia a vista.

Anche la facciata è realizzata in legno, le aperture in vetro sono mascherate da doghe verticali poste a distanze variabili, creando giochi di luce all'interno⁸.

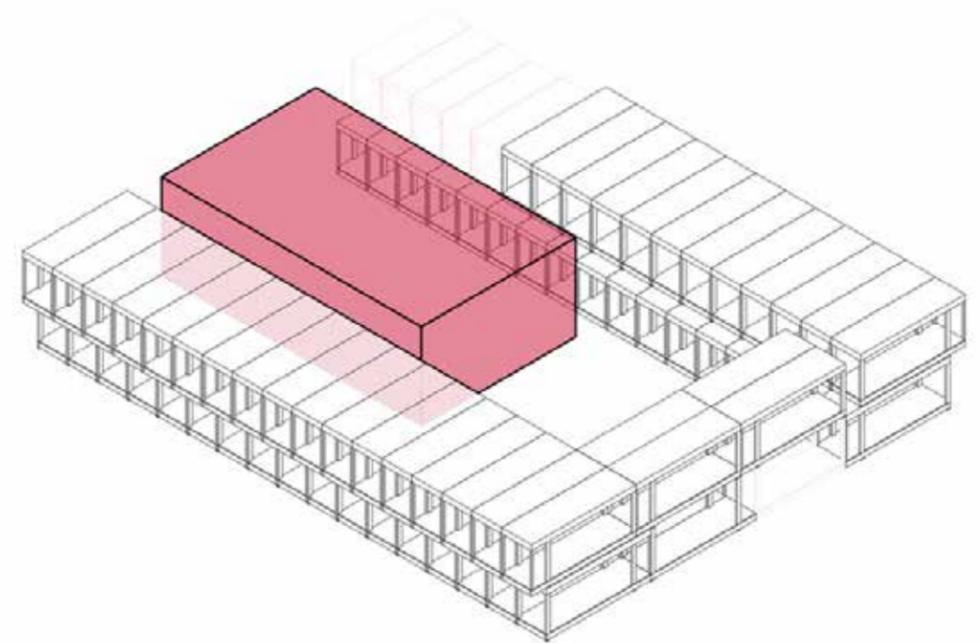


SeARCH, Het Epos School, vista esterna

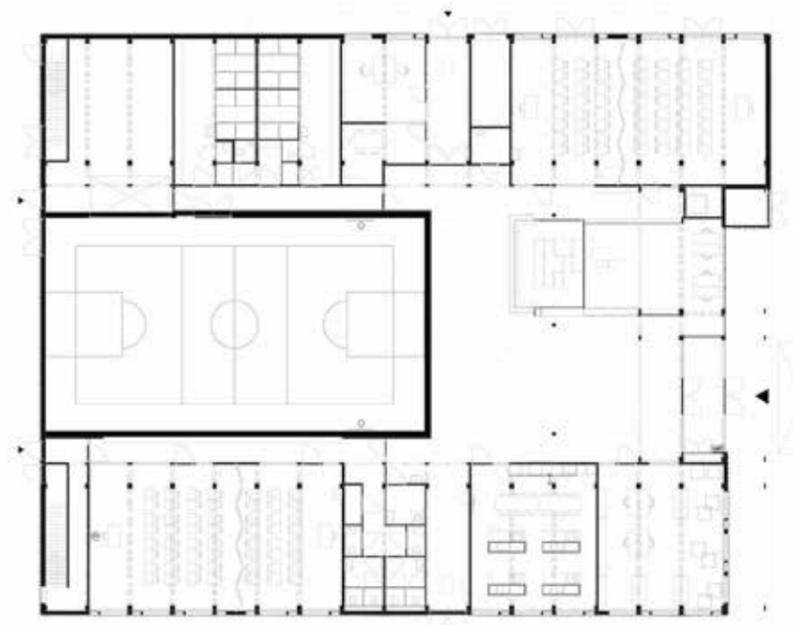
8 Het Epos School in <https://search.nl/#!content/primary-school-het-epos>



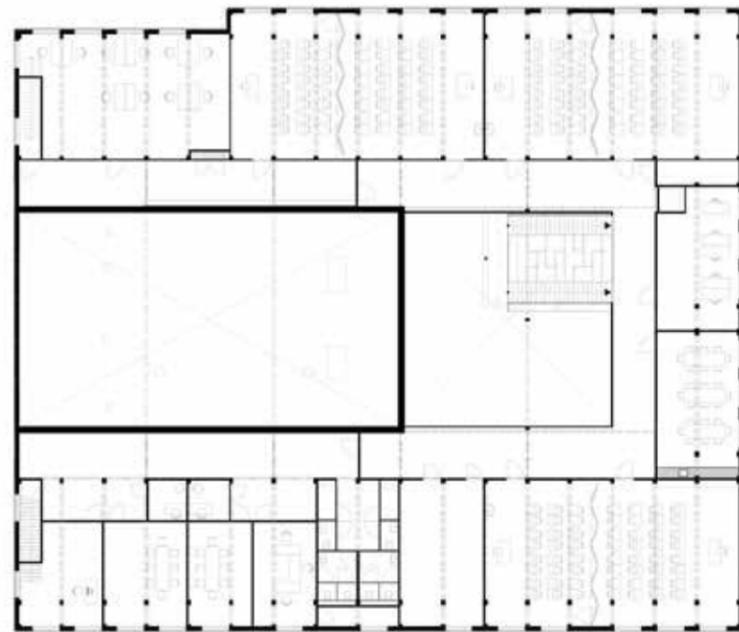
SeARCH, Het Epos School, concept moduli



SeARCH, Het Epos School, composizione, evidenziato in rosa la palestra



SeARCH, Het Epos School, pianta piano terra



SeARCH, Het Epos School, pianta primo piano



SeARCH, Het Epos School, sezione



SeARCH, Het Epos School, atrio prima e dopo

MUNICH LEARNING HOUSE, WULF ARKITEKTEN, MONACO DI BAVIERA, 2017

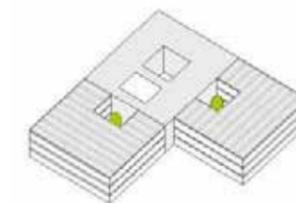
Lo studio tedesco Wulf Arkitekten ha ideato una costruzione modulare con la quale sono realizzate quattro scuole elementari nello stesso periodo in luoghi diversi della città di Monaco, due in due ex proprietà dell'esercito e le restanti in aree urbane in via di sviluppo. I quattro progetti hanno impronte differenti, in quanto i moduli utilizzati possono essere disposti diversamente in relazione con il contesto con grande flessibilità.

La Munich Learning House è un modulo di casa di apprendimento intelligente che consiste di quattro aule ciascuna, due aule interconnesse (con la possibilità di ampliare o diminuire lo spazio a seconda delle necessità) e un'area di lavoro per personale docente e di servizio disposte in cerchio attorno ad uno spazio comune centrale. Tutte le stanze hanno un'uscita diretta sull'area esterna attraverso i camminamenti che le circondano.

Il modulo può essere ripetuto fino a costruire un edificio di tre piani. Può essere considerato un'elemento indipendente all'interno del progetto e in quanto tale costituisce un mezzo di orientamento per gli alunni. Al centro si trova la "break area", un atrio di circa 100 metri quadrati che garantisce una forte illuminazione naturale. Le pareti tra le aule e l'area break sono progettate per essere mobili, garantendo una grande flessibilità.

Un elemento di design dal carattere forte è la volta a botte in cemento a vista, il quale si scosta parecchio dal classico edificio modulare stereotipato.

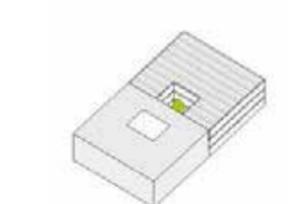
All'esterno le quattro scuole presentano un'immagine uniforme: logge con colonne bianche e pannelli in legno verticali che vanno dal pavimento al soffitto⁹.



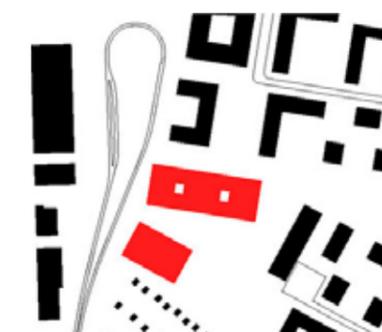
Grundschule
Quartierszentrum



Grundschule
Bauhausplatz



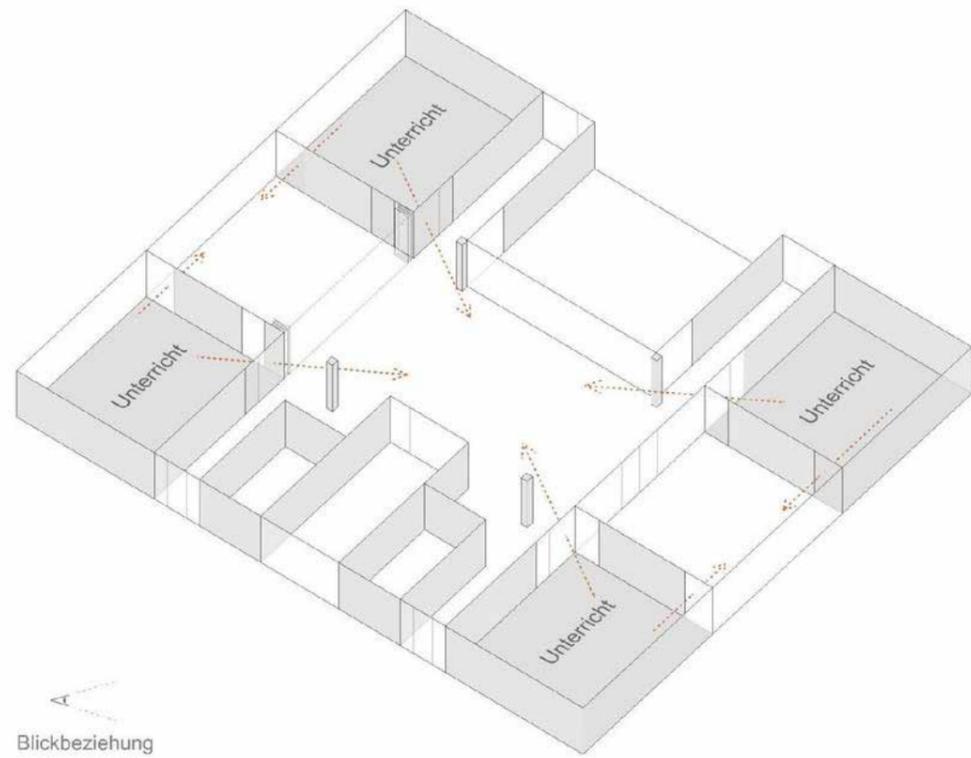
Grundschule
Ruth-Drexel-Straße



Grundschule
Aubinger Allee

Wulf Arkitekten, Munich Learning House, i quattro progetti

⁹ Four Primary Schools in Modular Design in <https://www.wulfarchitekten.com/en/work/detail/show/four-primary-schools-in-modular-design/>



Wulf Architekten, Munich Learning House, modulo



Wulf Architekten, Munich Learning House, interno



Wulf Architekten, Munich Learning House, cortile interno



Wulf Architekten, Munich Learning House, vista esterna

SOPRAELEVAZIONE SCUOLA ELEMENTARE DI CAMORINO, ARCH. PIETRO BOSCHETTI, SVIZZERA, 2014-2016

La scuola elementare di Camorino fu costruita tra il 1977 e il 1978, ed era costituita da un solo piano organizzato intorno a uno spazio di circolazione posto al centro. In un clima di sviluppo demografico e le conseguenti esigenze di spazio si pone il tema dell'ampliamento della scuola.

Nel rispetto del progetto esistente, in quanto estremamente funzionale, l'architetto Pietro Boschetti, progettista anche della scuola originaria, ha deciso di procedere con la sopraelevazione della costruzione esistente con elementi prefabbricati in legno. Questa azione fu resa possibile proprio per la composizione della scuola esistente, la cui concezione ha reso facile la realizzazione di una sopraelevazione. Ne risulta un ampliamento che sembra quasi sempre esistito, come se l'edificio fosse cresciuto naturalmente in altezza.

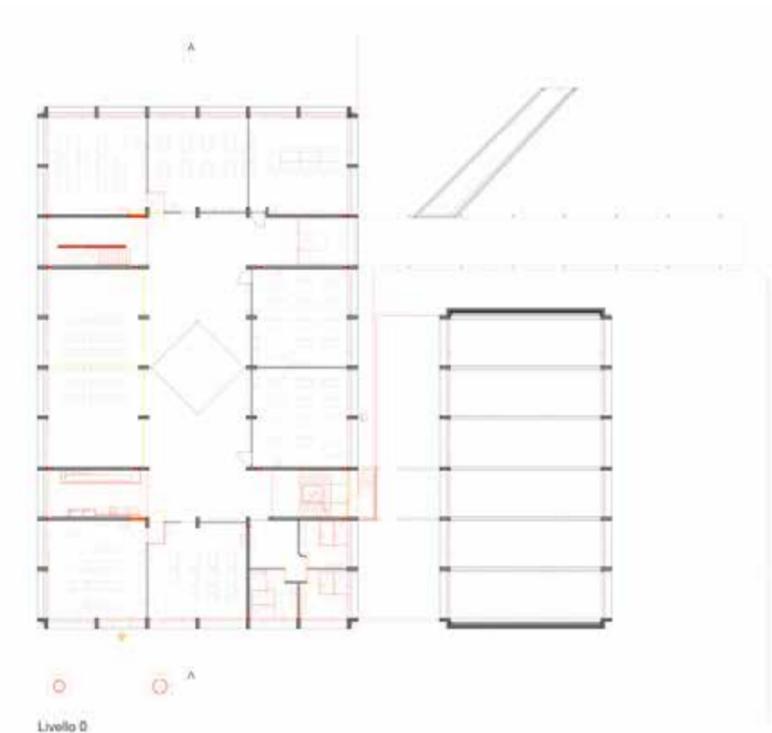
Il progetto risulta di una semplicità assoluta, nella sopraelevazione lo schema distributivo della scuola esistente viene ripetuto, mantenendo il grande e caratterizzante vuoto centrale anche al primo piano; qui, in corrispondenza del vuoto, viene riproposto il lucernario semplicemente rialzandolo.

Attorno a questo spazio centrale si organizzano le nuove aule, sette di numero, una biblioteca e una aula conferenze.

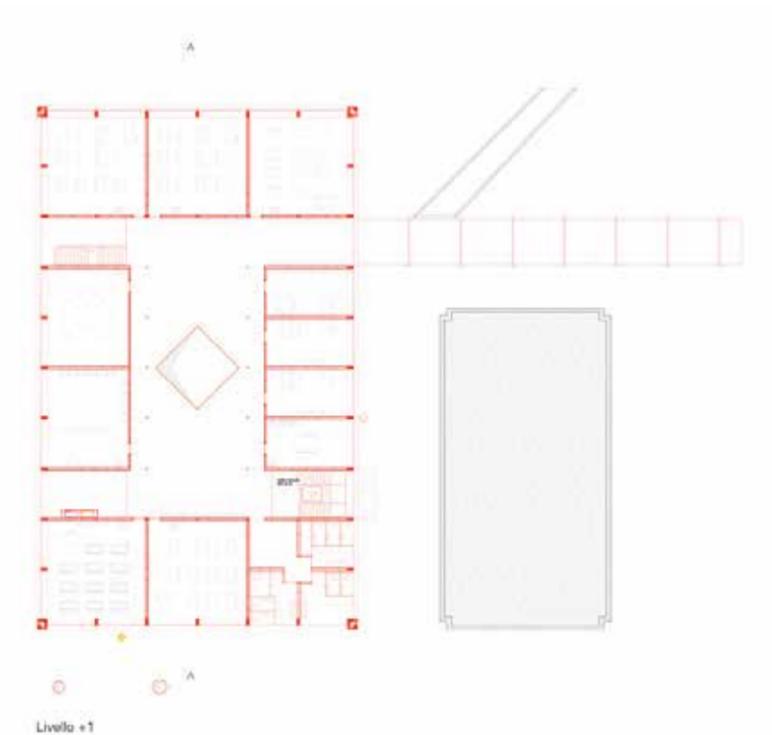
Per ottimizzare i lavori, e anche per risparmiare soldi e tempo, i nuovi servizi sono stati disposti esattamente sopra quelli esistenti del piano terra.

Con la sopraelevazione vengono a collegarsi i due materiali protagonisti dei due progetti, il calcestruzzo armato e il legno, fondendoli in modo da far sembrare che il complesso sia sempre esistito con queste fattezze.

La sopraelevazione è realizzata completamente in legno, dai pilastri portanti ai rivestimenti fino agli arredi. Tutte le strutture sono elementi prefabbricati, prodotti in fabbrica, trasportati in sito e impilati sull'esistente¹⁰.



Pietro Boschetti, Ampliamento Scuola Elementare di Camorino, pianta piano terra



Pietro Boschetti, Ampliamento Scuola Elementare di Camorino, pianta piano primo

10 Sopraelevazione della scuola elementare di Camorino in <https://www.pietroboschetti.ch/?q=node/53>



Pietro Boschetti, Scuola Elementare di Camorino, 1977 1978



Pietro Boschetti, Sopraelevazione Scuola Elementare di Camorino, 2014 2016

LICEO SCIENTIFICO E. BÈRARD, ARCH. ROBERTO MONTEGRANDI, AOSTA, 2020

Il progetto nasce dall'esigenza di costruire una scuola temporanea in modo rapido e sostenibile, anche a livello economico. Per queste ragioni l'architetto Roberto Montegrandi ha deciso di utilizzare dei moduli prefabbricati per la realizzazione di questo progetto. I moduli sono pensati per essere aule, sia didattiche che polivalenti, laboratori, locali di direzione e servizi igienici.

I materiali utilizzati sono semplici, il legno crea un'atmosfera calma e rilassante e incentiva il rapporto con l'esterno spazio verde.

La struttura delle pareti, sia esterne che interne, è a telaio in legno; mentre la copertura è costituita da una struttura lamellare portante.

Il progetto comprende oltre alle 35 aule e ai laboratori, disposti su due ali parallele, e una palestra che si differenzia dalle prime per la semplicità delle facciate. Esse, rispetto alle vetrate dei blocchi aula, sono semplici e pulite, quasi disadorne.

Il complesso, grazie all'elevato grado di prefabbricazione, è stato realizzato in 100 giorni di cantiere¹¹.



Roberto Montegrandi, Liceo Scientifico E. Bèrard, pianta

¹¹ Liceo Scientifico E. Bèrard in <https://www.ediluboz.it/realizzazione-di-struttura-prefabbricata-per-scuola-superiore-di-secondo-grado-liceo-berard-aosta/>



Roberto Montegradi, Liceo Scientifico E. Bèrard, piantumazioni esterne



Roberto Montegradi, Liceo Scientifico E. Bèrard, posa degli elementi prefabbricati in cantiere



Roberto Montegrandi, Liceo Scientifico E. Bèard, render



Roberto Montegrandi, Liceo Scientifico E. Bèard, render

MODULAR TIMBER SCHOOL, GMP ARCHITECTS, FRANCOFORTE, 2019

Il gruppo GMP Architects ha progettato due scuole temporanee per il complesso scolastico di Miquelallee di Francoforte. L'esigenza fu quella di realizzare una scuola che potesse ospitare gli studenti per cinque fino a dieci anni, mentre la struttura permanente viene completata. Per costruire questi edifici temporanei gli architetti si sono affidati a un sistema modulare prefabbricato in legno, che potesse poi essere smontato e ricostruito altrove, quando avesse completato la sua utilità. Grazie a questa scelta i lavori in cantiere sono stati ridotti del 60% rispetto ai tempi che sarebbero stati necessari se si fossero utilizzate le tecniche di costruzione convenzionali, es. cemento.

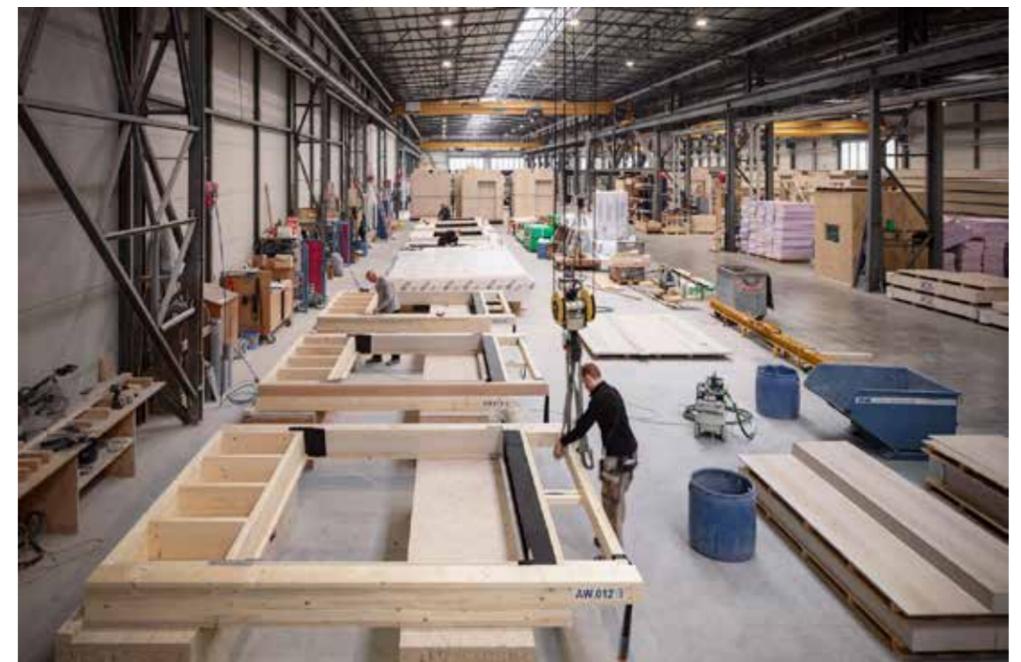
Le due scuole, un liceo e una scuola elementare, condividono gli uffici al piano terra nell'ala centrale; attorno a questo corpo si sviluppano le stecche che contengono tutti gli ambienti didattici. Nonostante si parli di un edificio temporaneo, la nuova scuola rispetta gli elevati standard energetici, inserendosi nel contesto in modo sostenibile.

Per ospitare i 2000 studenti in attesa della fine dei lavori nella sede permanente, sono stati realizzati 350 moduli in soli due anni. Il legno che costituisce i moduli, circa 5000 mc di materiale, proviene dall'Europa Centrale e permette al complesso di produrre un quarto delle emissioni di anidride carbonica rispetto a un edificio simile ma realizzato in altri materiali da costruzione.

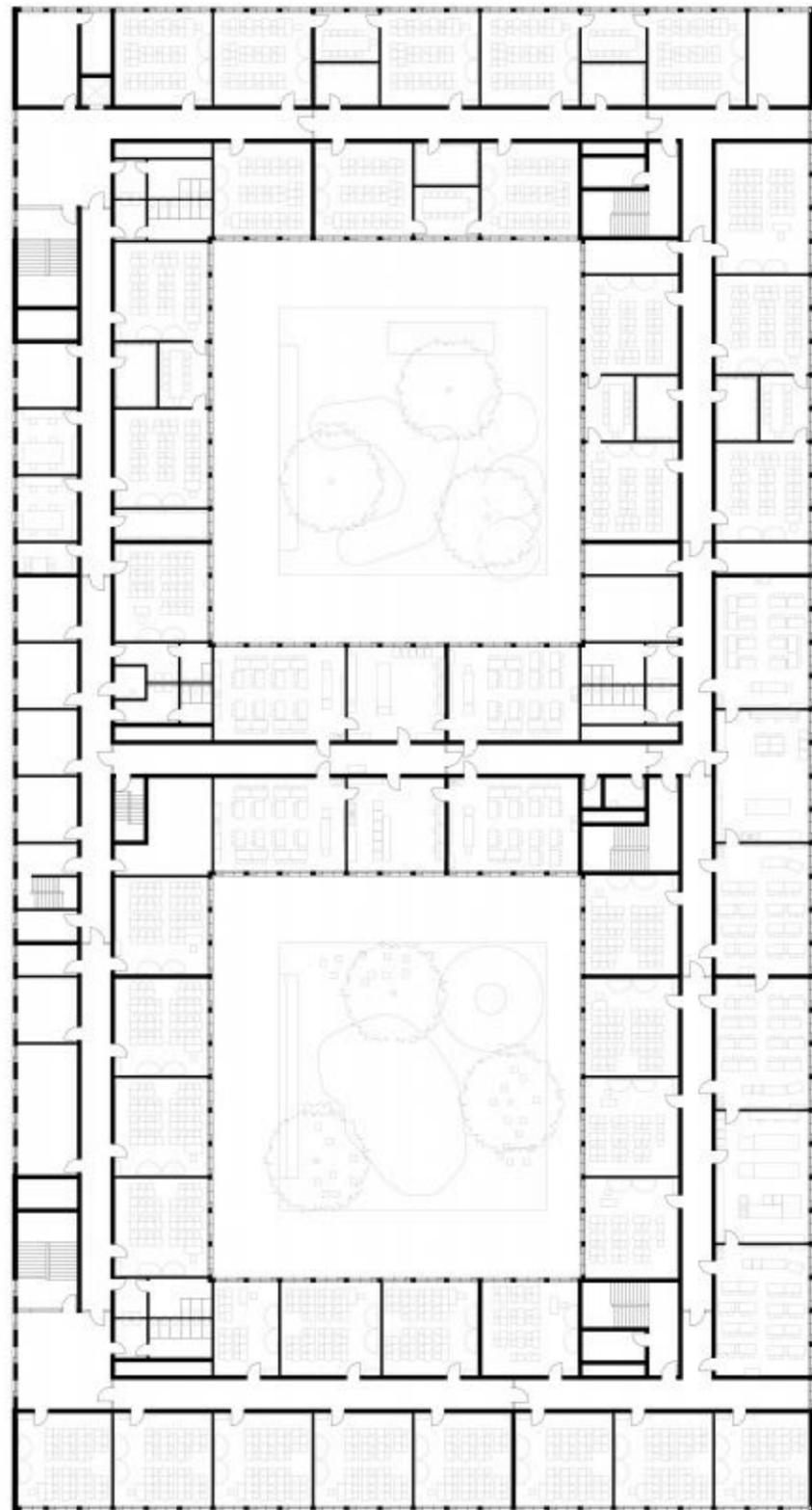
Le pareti, le facciate e i pavimenti vengono realizzati come singoli elementi prefabbricati, che vengono poi assemblati in fabbrica a formare i moduli. Questi, una volta completi di rifiniture e predisposti i passaggi per le installazioni impiantistiche, vengono trasportati in cantiere e posizionati grazie all'utilizzo di un'autogru mobile¹².



GMP Architects, Modular Timber School, render



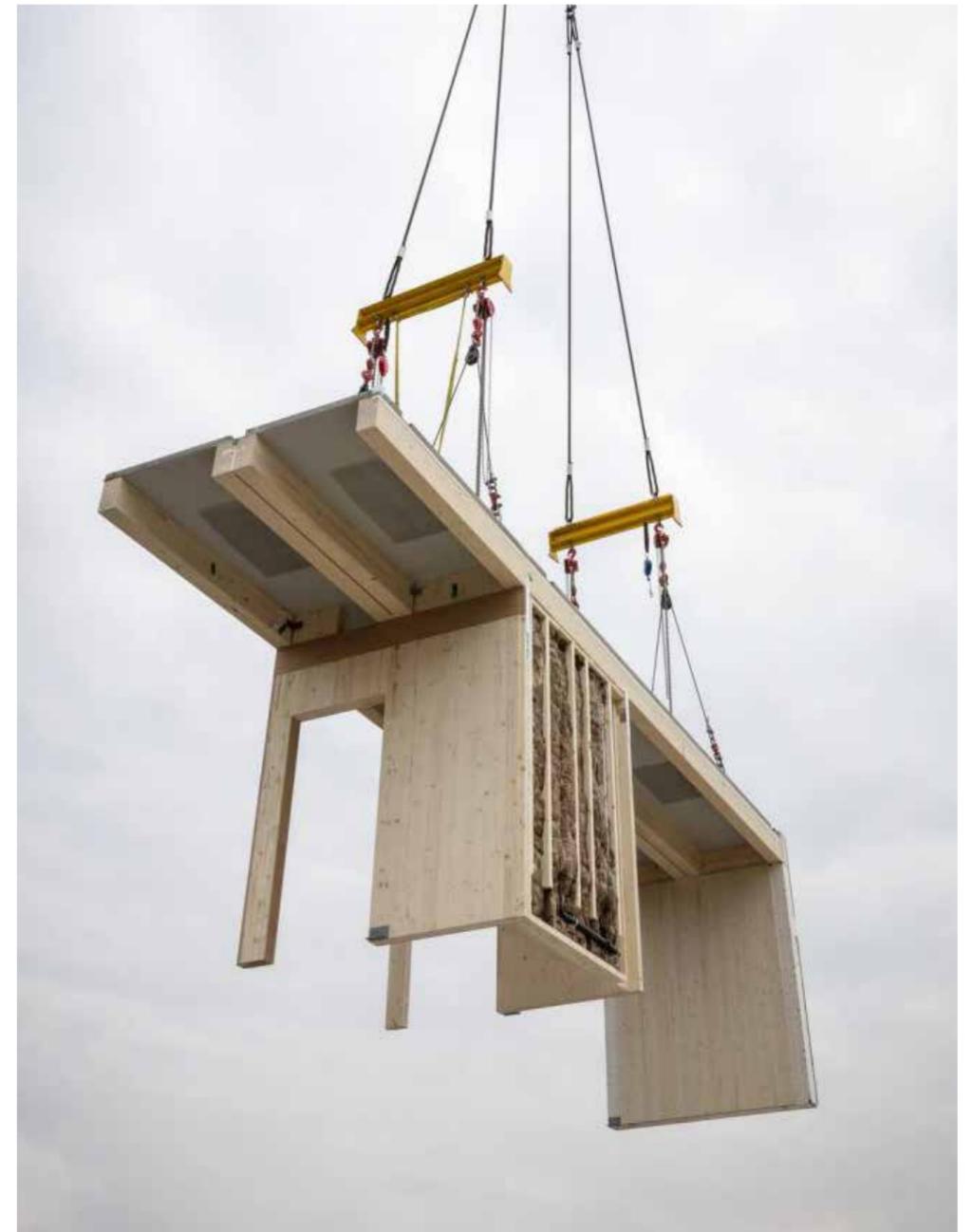
GMP Architects, Modular Timber School, processo di realizzazione dei componenti in fabbrica



GMP Architects, Modular Timber School, pianta primo piano



GMP Architects, Modular Timber School, sezione



GMP Architects, Modular Timber School, posizionamento dei moduli in cantiere

2.4 COSTRUZIONE MODULARE IN LEGNO

Gli edifici provvisori, come abbiamo visto per le colonie inglesi e successivi, sono sempre esistiti. Il loro uso limitato nel tempo ne ha però influenzato il significato urbanistico, considerato meno vincolante rispetto a quello di edifici permanenti. Il concetto di "provvisorio", considerato finora piuttosto marginale nella pratica architettonica, sta assumendo sempre maggiore importanza negli attuali processi di densificazione urbana. Per la costruzione di centri per i richiedenti asilo, edifici residenziali o scolastici, vengono spesso individuati spazi urbani residui, come terreni lungo autostrade o linee ferroviarie, luoghi di sosta o vuoti dell'espansione urbana.

La costruzione modulare in legno si rivela adatta a tale scopo e – se accompagnata da progettazione digitale, prefabbricazione ed efficiente organizzazione da cantiere – permette di ridurre costi e tempi di costruzione.

Molti di questi edifici temporanei sono inseriti in aree vuote o in zone di sviluppo e prevedono un'esistenza dai 10 ai 20 anni: lasso di tempo ragionevole, se si pensa alla presunta eternità di alcuni edifici che vengono smantellati già dopo pochi decenni.

Una piena sostenibilità può essere raggiunta solo considerando anche una fase di recupero e successivo riutilizzo. Durevolezza, qualità del legno impiegato e degli assemblaggi tra gli elementi, facilità di trasporto sono punti decisivi per valutare la pertinenza di una successiva ricostruzione in un altro luogo. Già numerosi esempi mostrano come le costruzioni modulari in legno possano essere reimpiegate, risparmiando sugli scarti di cantiere o sul riciclaggio.

La potenzialità del legno come materiale edile, in edifici durevoli quanto temporanei, consiste nella possibilità di costruire, grazie a elevati standard qualitativi e di prefabbricazione, spazi e ambienti idonei per la città futura.

La possibilità di un sistema costruttivo basato su elementi modulari non fu testato solo in ambito residenziale (si riveda Manning con il Portable Cottage), ma venne applicato anche nel settore terziario come nella costruzione di infrastrutture pubbliche quali scuole e asili.

La costruzione modulare incarna al meglio il potenziale della prefabbricazione industriale grazie a un sistema di montaggio semplice quanto efficace, secondo la logica della "lean construction", dalla quale risultano i seguenti vantaggi:

- Risparmio dei costi di produzione attraverso la standardizzazione degli elementi costruttivi, la progettazione digitale e la produzione industriale;
- Maggiore precisione nella fase di esecuzione attraverso il controllo continuo della fase di produzione, andando così a ridurre i possibili imprevisti e gli errori di cantiere;
- Ritorno sugli investimenti più rapido grazie alla riduzione dei tempi della fase di costruzione;
- Controllo sui costi complessivi e sul calendario del progetto.

L'industria del legno punta verso una produzione industrializzata e standardizzata di singoli componenti lineari (elementi a blocchi, capriate, pilastri, telai) e di elementi quali pareti, soffitti, fino alla costruzione di veri e propri vani. Grazie alla sua riproducibilità seriale, il sistema modulare in legno risulta ottimale per la realizzazione di edifici composti da unità simili tra loro, come ostelli, complessi residenziali, ospedali, scuole ed altri edifici amministrativi. Le applicazioni possibili sono varie, da fabbricati temporanei che possono essere impiegati per funzioni diverse, fino ad edifici tradizionali con una destinazione definitiva, o ancora ampliamenti di edifici esistenti, riducendo oltre alle tempistiche anche l'inquinamento e il disturbo che derivano dalle attività di cantiere.

Flessibilità nell'impiego e adattabilità vengono garantite dalla possibile combinazione di diverse unità. Ciò richiede però un'accurata fase di progettazione, nella quale grazie all'unione di diversi moduli, uno schema rigido può permettere una certa libertà creativa.

2.5 PROGETTO DEL MODULO

Per il progetto del modulo oggetto di tesi si è partiti definendo la tecnica di costruzione e la tipologia di struttura. La scelta è ricaduta su una struttura modulare prefabbricata interamente in legno realizzata con un sistema costruttivo a secco. La progettazione per moduli permette una costruzione semplice e adatta a diverse tipologie d'uso grazie alle molteplici possibilità di aggregazione dei componenti. Inoltre le aule e gli spazi di apprendimento delle scuole in generale sono dettati dalle normative (dal numero di studenti, ad esempio) giustificando un approccio progettuale modulare e ripetitivo.

Come si è visto, la costruzione prefabbricata fu la soluzione migliore quando era necessario costruire in poco tempo, in grandi quantità e a costi bassi. Attraverso un processo semplice ma efficace, la prefabbricazione riduce i tempi di costruzione fino al 60% rispetto ai convenzionali metodi di costruzione. A livello economico permette un risparmio nei costi di produzione, grazie all'utilizzo di elementi standardizzati e della produzione industriale, oltre a un ritorno più veloce sugli investimenti iniziali dato dai tempi brevi della fase di costruzione.

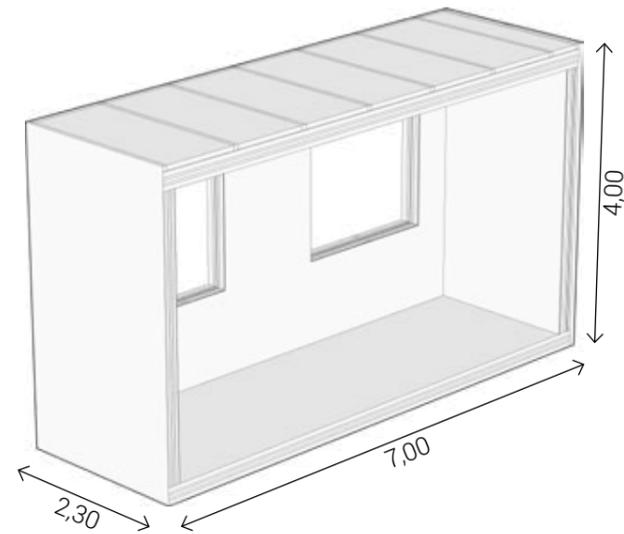
Il sistema di costruzione a secco garantisce un forte risparmio nell'utilizzo di acqua a differenza delle classiche tecniche di costruzione, qui infatti l'assemblaggio dei componenti costruttivi avviene in modo meccanico con viti, piastre e bulloni, permettendo inoltre di portare in cantiere un edificio quasi interamente finito in fabbrica, che dovrà poi essere completato con elementi pre-finiti applicabili in sito, riducendo anche notevolmente la quantità di rifiuti da costruzione prodotti in cantiere.

L'utilizzo del legno a differenza di altri materiali da costruzione quali cemento, acciaio e calcestruzzo esclude processi di produzione ad alta intensità di CO₂. Il dispendio di anidride carbonica nel settore delle costruzioni è un tema molto dibattuto, con sempre più attori impegnati nella riduzione delle emissioni. Da questo punto di vista, oltre all'utilizzo del legno, vanno abbandonate le fonti di energia fossili per il riscaldamento per lasciare spazio a soluzioni più sostenibili, anche economicamente, come il fotovoltaico e il solare termico; e cercare di prevedere un facile smantellamento e un riciclaggio con il minor dispendio di energia possibile a fine vita dell'edificio.

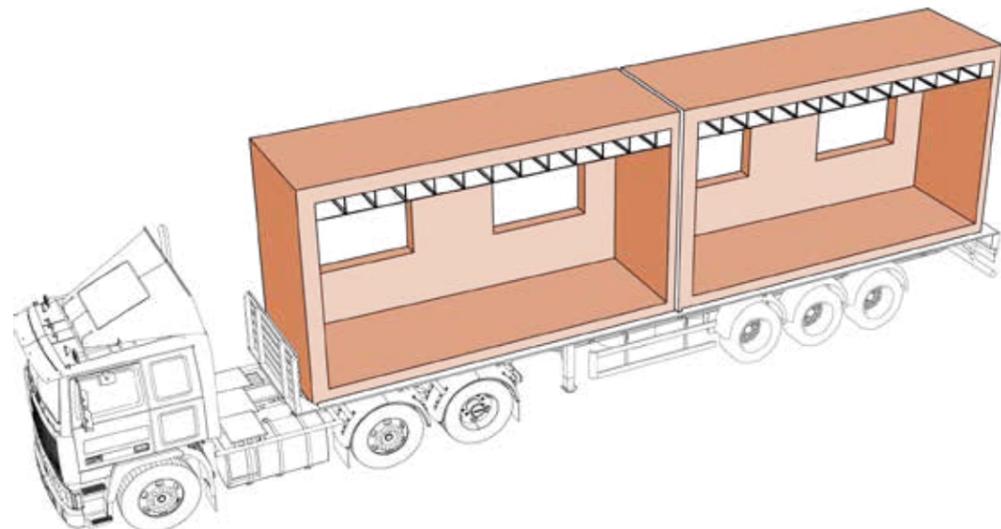
Per il progetto dei moduli oggetto di tesi sono stati utilizzati dei pannelli in Cross Laminated Timber (legno massiccio) dell'azienda STORA ENSO, con sede anche in Italia. Gli elementi in legno lamellare prodotti dall'azienda vengono utilizzati per parti della struttura dell'edificio, per pareti, pavimenti, tetti, fino a interi vani. Il metodo di costruzione utilizzata è quella modulare, o volumetrica. Qui i componenti (i pannelli che costituiscono le pareti, i solai, ecc...) vengono consegnati imballati ad una fabbrica dove vengono assemblati in moduli. I pannelli in CLT sono costituiti da almeno tre monostrati incollati di tavole di legno o "lamelle", incollaggio che avviene con colle prive di formaldeide per garantire gli aspetti ecologici. Il CLT di STORA ENSO è un prodotto leggero e forte, ha un'elevata capacità di carico rispetto al suo peso. È versatile, si adatta a diversi usi e si può combinare con altri materiali da costruzione. È facile da tagliare, da inchiodare ed assemblare, ha un costo efficiente ed è realizzato con una materia prima rinnovabile¹.

tipologie di moduli

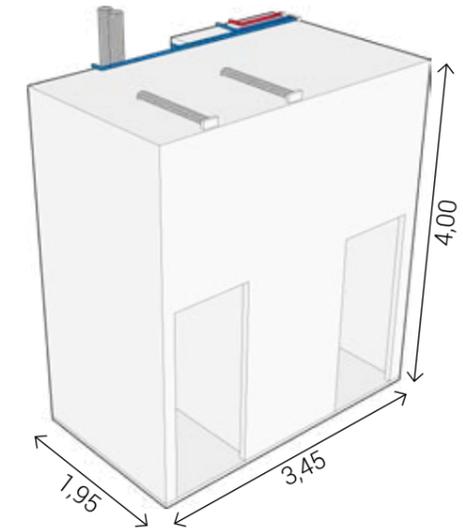
Modulo **Aula**



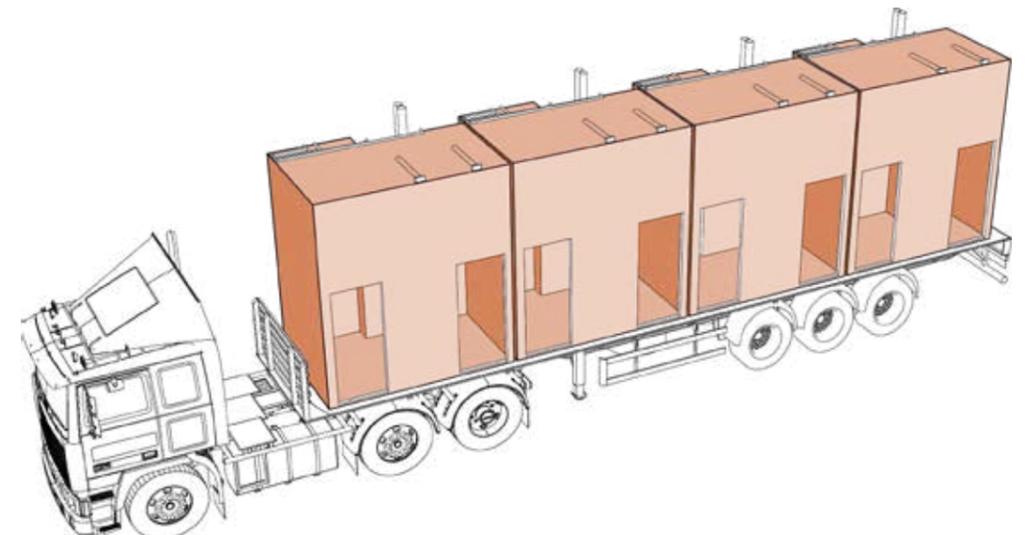
Per la realizzazione delle aule didattiche è stato scelto un sottomodulo che ripetuto tre volte andrà a comporre l'aula. Il modulo è realizzato con componenti di CLT dell'azienda STORA ENSO. Le dimensioni del modulo (7,00 x 2,30 x 4,00 metri) consentono il trasporto di due moduli sullo stesso rimorchio, la cui lunghezza massima è di 16 metri e la larghezza di 2,50 metri.



Modulo **Bagno**



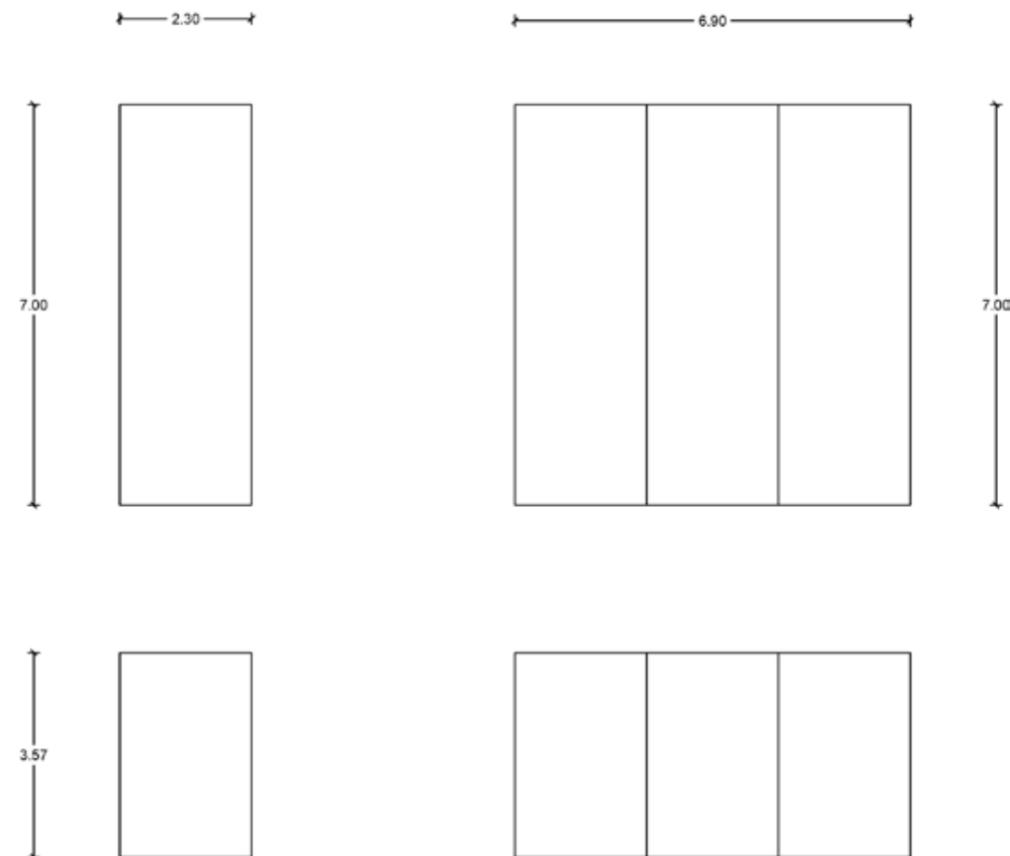
Il modulo dei bagni è un elemento prefabbricato con elementi dell'azienda WOOD BETON. Esso è costituito da uno scheletro di guide metalliche tra le quali viene inserito l'isolante e rivestito da lastre di cartongesso. I bagni prefabbricati di WOOD BETON consentono un'elevata flessibilità compositiva e finiture interne personalizzabili. Le dimensioni del modulo (3,45 x 1,95 x 4,00 metri) consentono il trasporto fino a un massimo di quattro moduli sullo stesso rimorchio.



ModuloAula

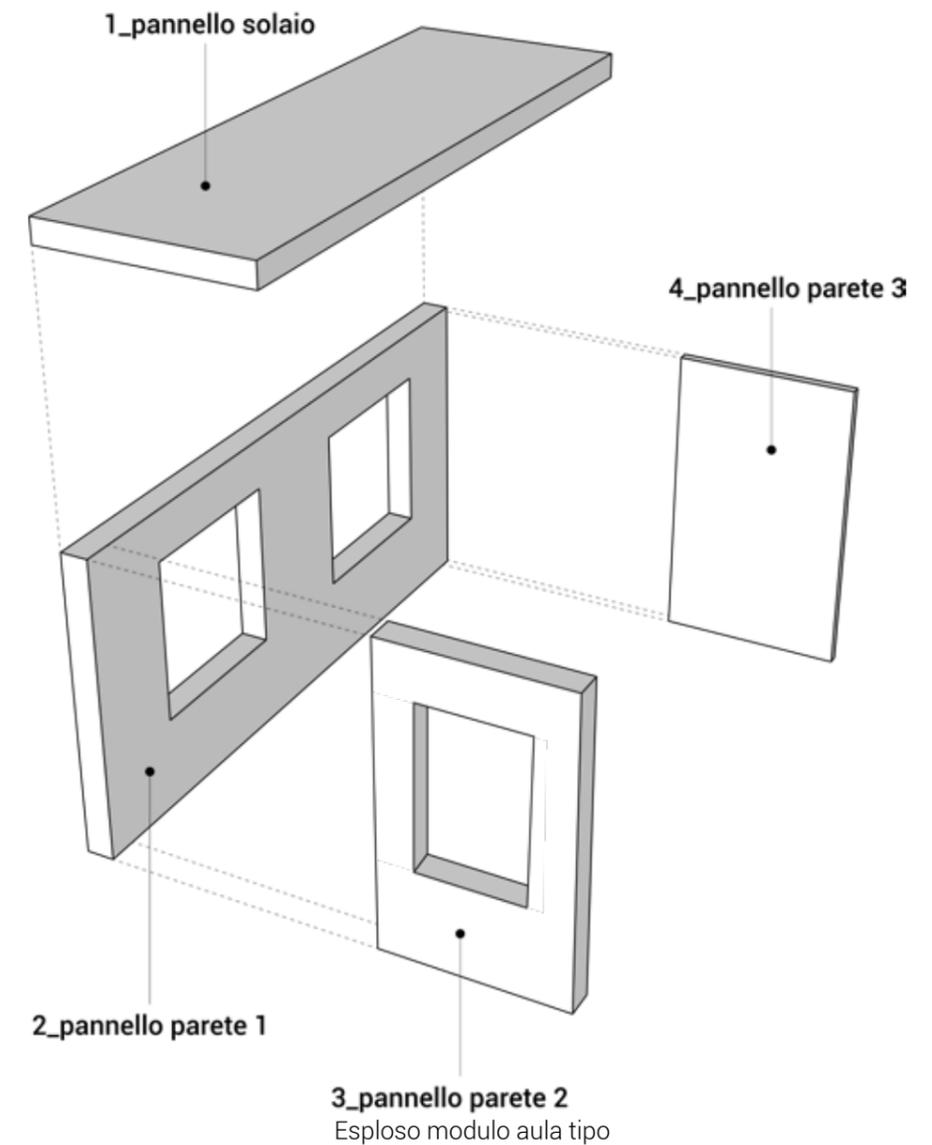
Sulla base delle richieste dei bandi di gara per le scuole è stato dimensionato il modulo base per formare un'aula e i moduli riferiti ai servizi / locali tecnici. Per la definizione del modulo aula il Decreto Ministeriale 18.12.1975 definisce un rapporto alunno/superficie pari a 1,96 mq/alunno; un'altezza interna maggiore o uguale a 3 metri e una massima affluenza per aula pari a 26 persone.

Considerando di voler realizzare un'aula di 41 mq che ospiti 20 alunni si è deciso di dividere l'aula in tre parti, ottenendo tre moduli di 2,3 x 7 metri. Le tipologie di elementi utilizzati come pareti portanti esterne o divisorie e degli elementi di solaio differiscono a seconda della collocazione all'interno del progetto.



Schema composizione modulo base - aula (sopra pianta, sotto sezione)

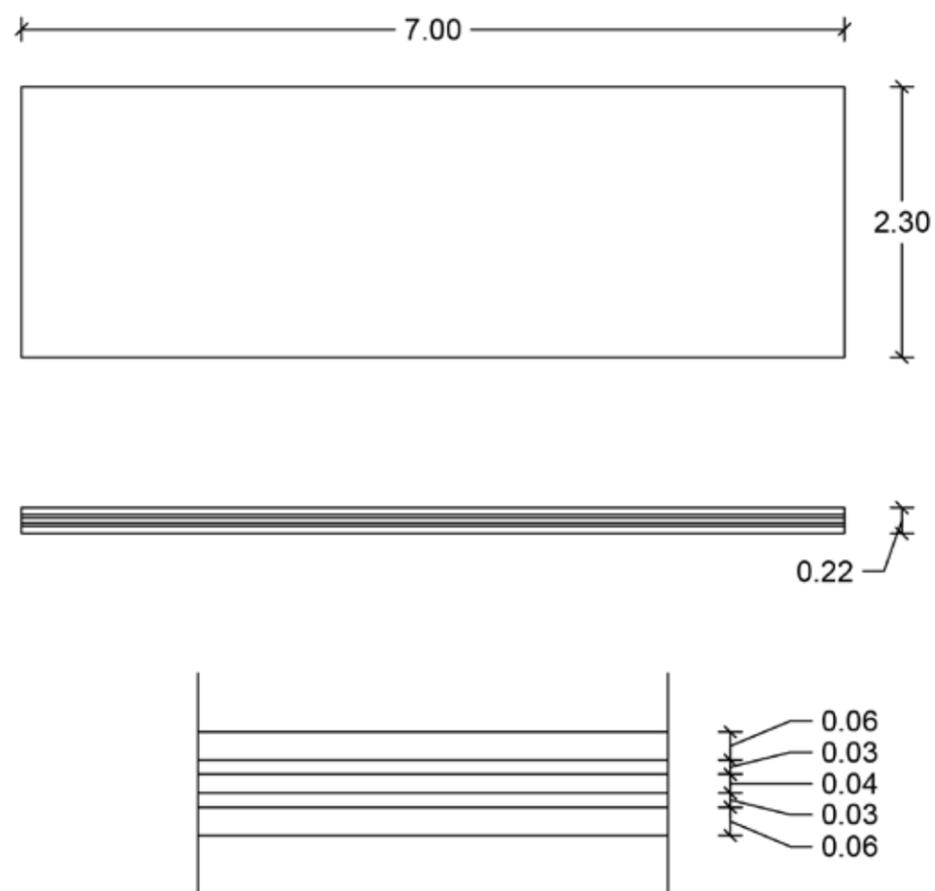
I moduli sono costituiti da pannelli inchiodati tra loro. I pannelli, elementi CLT STORA ENSO, sono realizzati in fabbrica e a seconda delle esigenze possono essere predisposti di bucatore per inserire finestre, di paramenti per il passaggio di eventuali impianti e ogni altro tipo di accortezza richiesta. Per analizzare gli elementi utilizzati si prende ad esempio un modulo utilizzato per la realizzazione di un'aula². Il modulo in questione è composto da 3 pareti, di cui due esterne e con bucatore, una parete interna e un solaio.



14 Modulo aula 1, Ampliamento per la scuola media Anna Frank di Castelvetro (vedi pag. 222)

Pannello **Solaio**

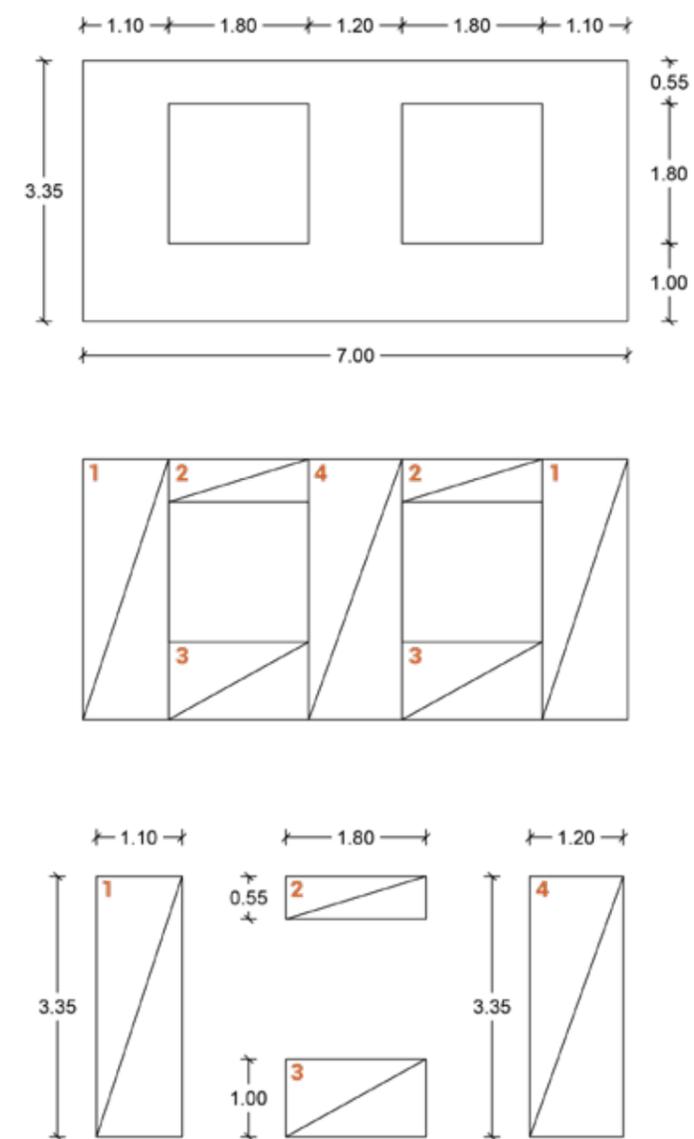
Le dimensioni massime per i gli elementi CLT di STORA ENSO sono 2,95 metri per la larghezza e 16 metri per la lunghezza. Questo consente di realizzare il pannello per il solaio con un unico elemento, di 2,3 metri di larghezza e 7 metri di lunghezza. L'elemento selezionato è un pannello di tipo L7s-2, di spessore pari a 220 mm e composto da 5 strati di lamelle rispettivamente con uno spessore di: 60, 30, 40, 30 e 60 mm.



Pianta e sezione pannello solaio L7s-2

Pannello **Parete 1**

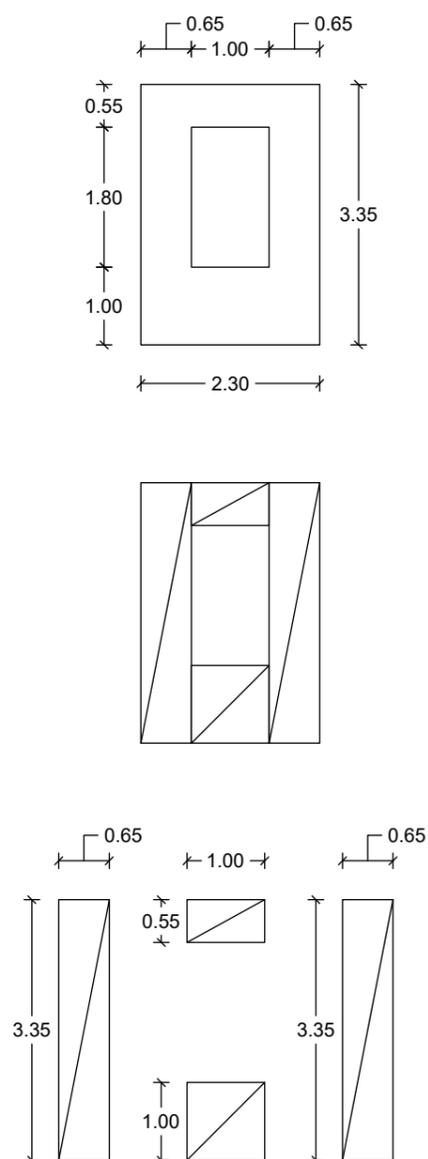
Il pannello parete 1 costituisce una parete esterna ed ha due aperture quadrate di dimensioni 1,80 m x 1,80 m. La tipologia di elemento utilizzata è del tipo CLT C5s, di spessore 140 mm. Per minimizzare gli sprechi di materiale, i pannelli che presentano aperture vengono composti da più pannelli di piccole dimensioni, disposti in modo da lasciare le due bucature ed evitare lavorazioni di taglio.



Suddivisione in pannelli per la realizzazione della parete 1

Pannello Parete2

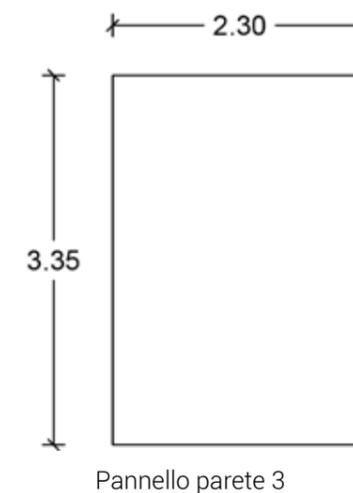
Anche il pannello parete 2 è costituito da una parete esterna, ed è suddiviso in moduli più piccoli. La parete presenta un'apertura di 1,00 m x 1,80 m ed è costituita da pannelli del tipo CLT C5s, di spessore pari a 140 mm.



Suddivisione in pannelli per la realizzazione della parete 2

Pannello Parete3

Il pannello parete 3 costituisce una parete interna, priva di bucatore. Il pannello risulta così composto da un unico elemento di dimensioni 3,35 m x 2,30 m. Il tipo di elemento utilizzato è CLT C3s, di spessore pari a 80 mm.

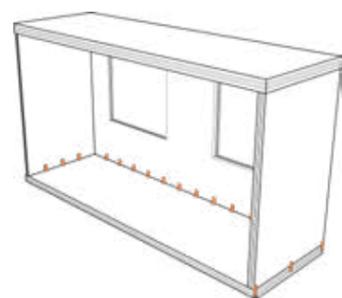


Una volta realizzati i pannelli per le pareti e i solai³, l'azienda STORA ENSO invia gli elementi presso specifiche fabbriche che si occupano della realizzazione dei moduli. Qui i pannelli vengono connessi gli uni agli altri con l'utilizzo di apposite viti, elementi di congiunzione come gli hold down e nastri coprigiunti, per garantire la giusta rigidezza per il trasporto e la costruzione, inoltre i moduli così composti vengono completati con l'inserimento di diversi componenti, quali:

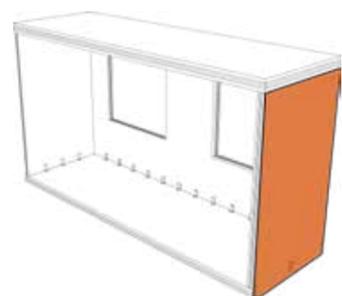
- isolante esterno ed interno, ove previsto
- isolamento anti calpestio
- pannelli di cartongesso
- infissi

¹⁵ I pannelli in CLT possono essere intagliati e predisposti per il passaggio di impiantistiche, elettriche e idrauliche

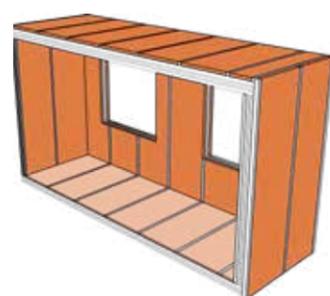
Costruzione **Off-Site**



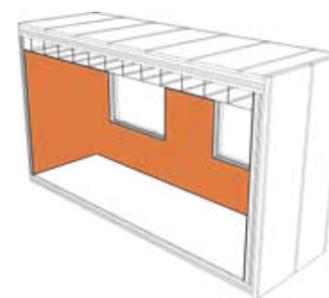
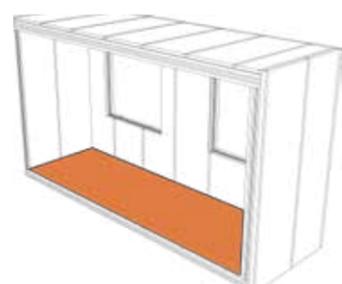
La prefabbricazione consente l'assemblaggio completo del modulo in fabbrica, dalla struttura portante agli infissi, consentendo di ridurre al minimo il tempo di posa in opera. Un'accurata progettazione è necessaria per le diverse caratteristiche che richiedono i moduli in base alla posizione che occuperanno in cantiere e per l'ordine in cui gli stessi dovranno poi essere trasportati.



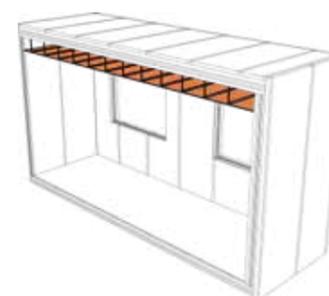
Per analizzare le fasi di realizzazione del modulo che avvengono in fabbrica è stato preso un modulo campione composto da due pareti esterne, una delle quali con bucatore, e una parete interna; da doversi disporre al primo piano. Inizialmente i pannelli di CLT vengono tagliati secondo le misure necessarie e forati qualora dovessero contenere delle aperture. Nello stesso momento, ove richiesto, i pannelli vengono fresati per consentire il passaggio degli impianti. I primi elementi ad essere assemblati sono i pannelli di CLT che costituiscono pareti e solaio, connessi tra loro tramite l'utilizzo di particolari giunti metallici, la cui tipologia dipende dagli elementi che devono unire. Internamente solaio e pareti sono giuntati da viti e Hold Down, degli angolari metallici saldati tramite bullonatura. Esternamente la parete portante è unita al solaio con l'utilizzo di piastre metalliche, anch'esse giuntate tramite bullonatura.



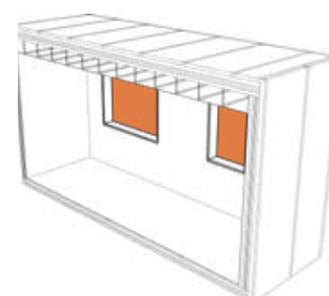
Successivamente i lati esterni vengono rivestiti da una membrana protettiva contro l'umidità, per evitare infiltrazioni.



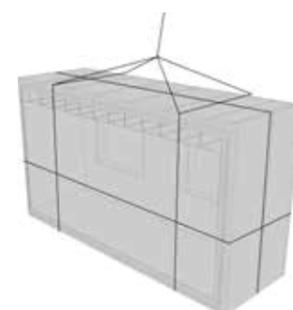
A seguire vengono posizionati gli isolanti. Sul pannello solaio di CLT viene sistemato un isolamento anti-calpestio dello spessore di 4 cm, intervallato da montanti costituiti da listelli di legno. Sulle pareti vengono posti due strati di isolante in fibra di legno, sulla parete esterna con uno spessore di 8 cm, mentre internamente trova uno spessore di 6 cm. Come l'isolamento anti-calpestio, anche l'isolante in fibra di legno è intervallato da montanti in legno.



Dopo la posa degli isolanti viene posato il pavimento, in questo caso è stato scelto un pavimento in grès porcellanato dello spessore di 1 cm.



Dopo aver installato gli impianti elettrici e di condizionamento, avendo lasciato gli appositi spazi tra l'isolante, viene installato il controsoffitto, che andrà a nascondere il passaggio delle tubature e dei cavi. Il controsoffitto utilizzato è costituito da una struttura metallica che lo collega al pannello solaio in CLT. Questa struttura sorregge pannelli fonoassorbenti apribili, i quali consentono l'ispezione e la manutenzione degli impianti in sicurezza.

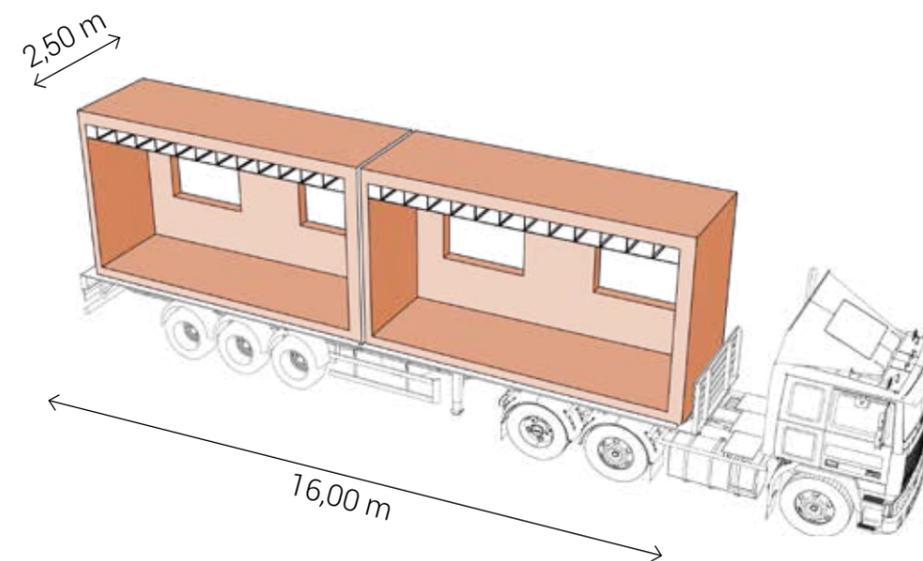
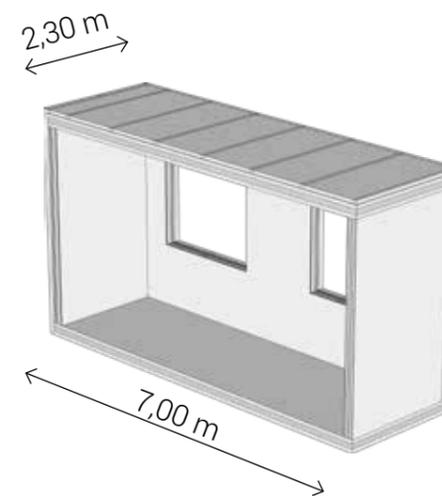


Successivamente vengono posate le lastre di cartongesso sulle pareti interne e intonacate. Ultimo step è costituito dalla posa degli infissi e dei serramenti.

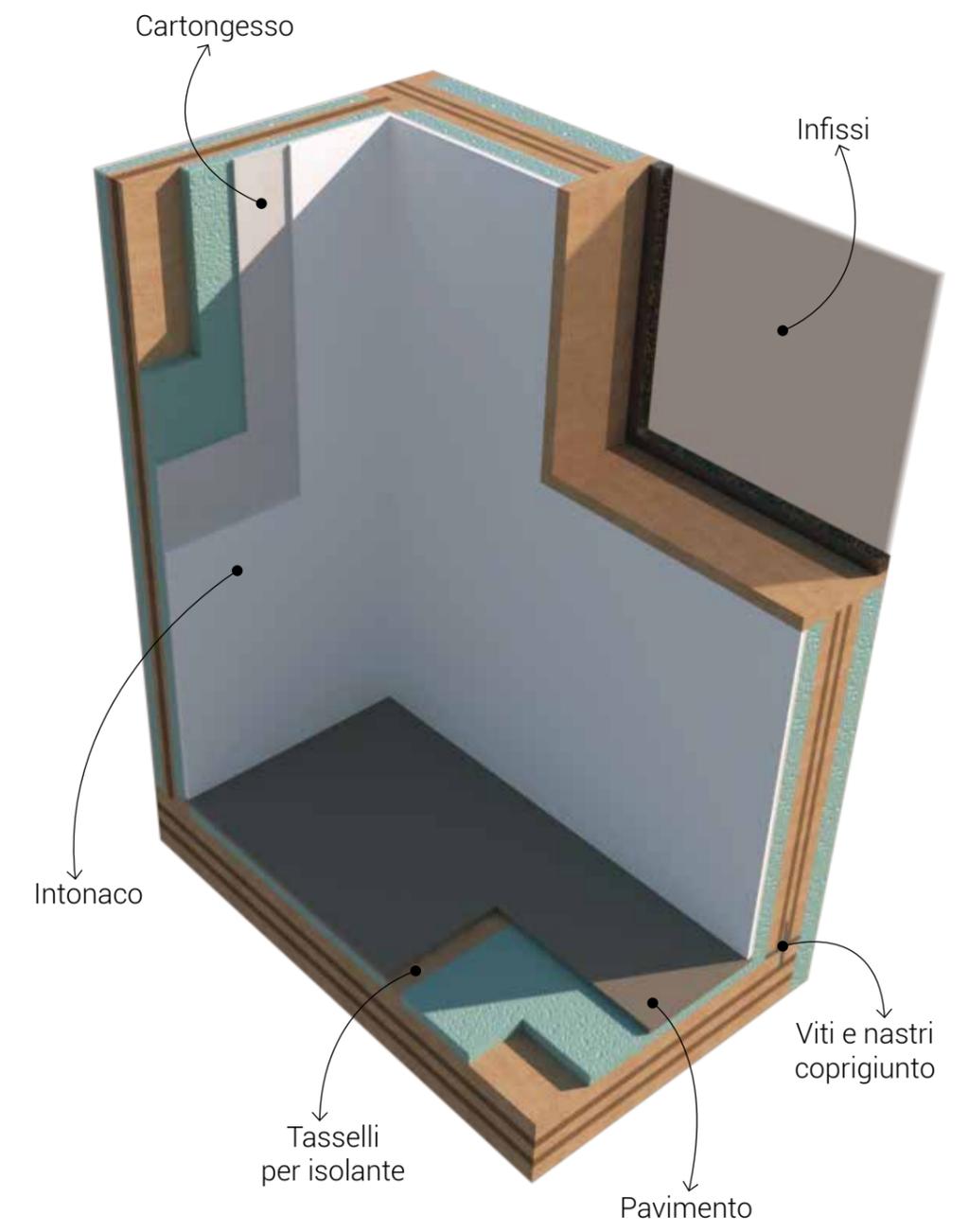
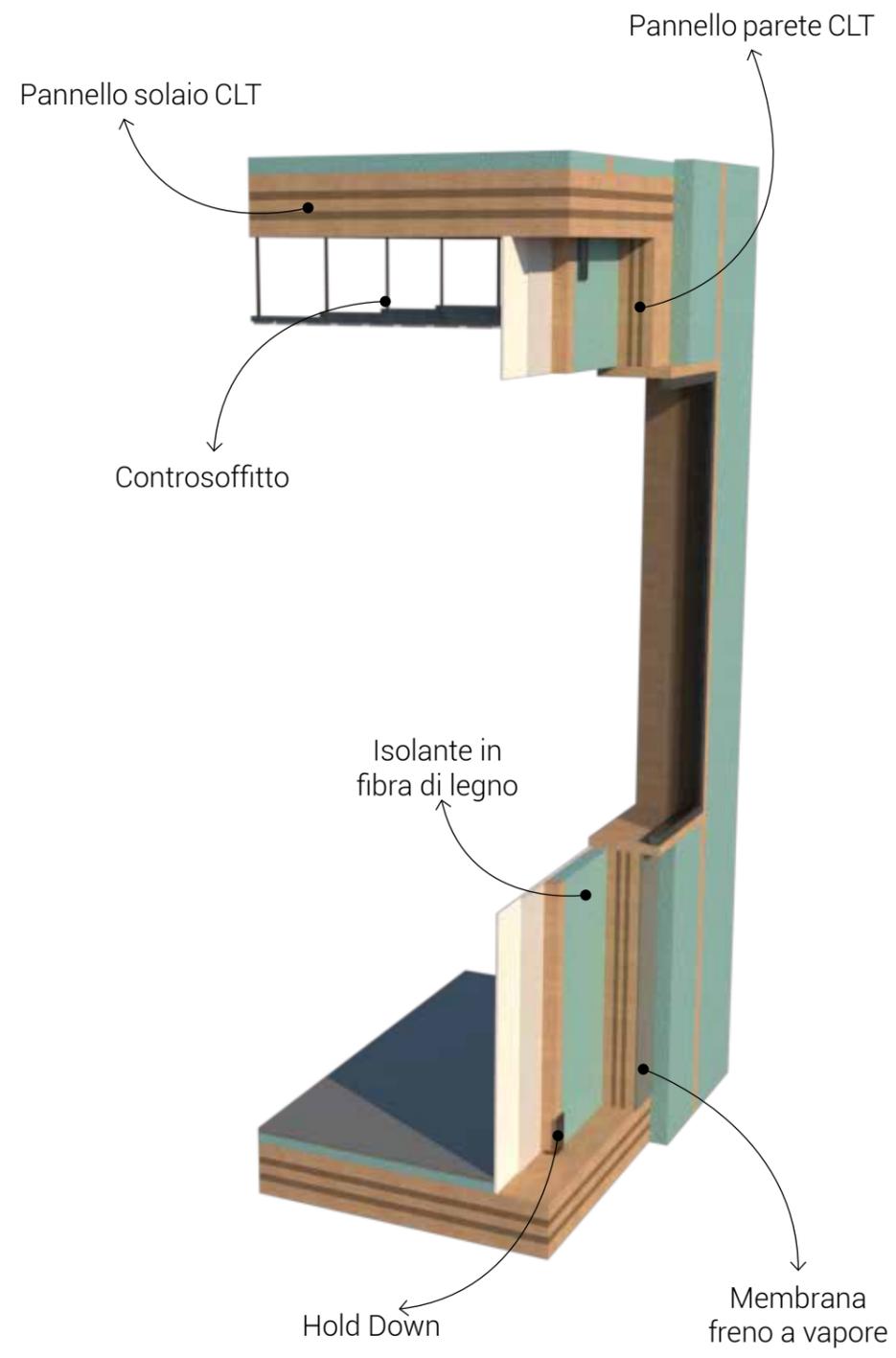
Il modulo a questo punto è pronto per essere imballato e stoccato in attesa di essere trasportato sull'area di progetto per la posa in opera.

Trasporto **sul Cantiere**

I Moduli, dopo essere stati predisposti per il trasporto, vengono sottoposti ad accertamenti per poter essere spostati senza subire danneggiamenti. Queste verifiche consistono nel controllo dell'imballaggio e della rigidità del modulo attraverso un viaggio su mezzo controllato. Superati i test del caso, i moduli possono essere sistemati su rimorchi e trasportati al sito di costruzione. Le dimensioni dei rimorchi per trasporti speciali consentono il trasporto di due moduli aula insieme, ottimizzando i tempi e i costi per lo spostamento.

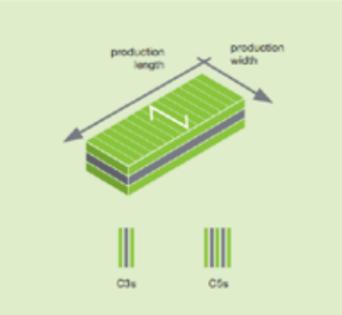


Componenti **eMateriali**



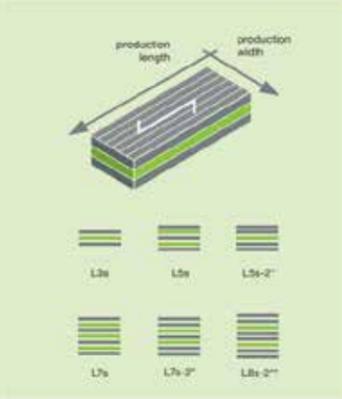
Pannello parete CLT C5s di STORA ENSO⁴

C panels									
The grain direction of the cover layers is always parallel to the production width.									
Thickness [mm]	Panel type [-]	Layers [-]	Panel design [mm]						
			C***	L	C***	L	C***	L	C***
60	C3s	3	20	20	20				
80	C3s	3	20	40	20				
90	C3s	3	30	30	30				
100	C3s	3	30	40	30				
120	C3s	3	40	40	40				
100	C5s	5	20	20	20	20	20		
120	C5s	5	30	20	20	20	20	30	
140	C5s	5	40	20	20	20	20	40	
160	C5s	5	40	20	40	20	40		



Pannello solaio CLT L7s di STORA ENSO⁵

L panels									
The grain direction of the lower layers is always at right angled to the production width.									
Thickness [mm]	Panel type [-]	Layers [-]	Panel design [mm]						
			L	C	L	C	L	C	L
80	L3s	3	20	20	20				
80	L3s	3	20	40	20				
90	L3s	3	30	30	30				
100	L3s	3	30	40	30				
120	L3s	3	40	40	40				
100	L5s	5	20	20	20	20	20		
120	L5s	5	30	20	20	20	30		
140	L5s	5	40	20	20	20	40		
160	L5s	5	40	20	40	20	40		
180	L5s	5	40	30	40	30	40		
200	L5s	5	40	40	40	40	40		
160	L5s-2"	5	60	40	60				
180	L7s	7	30	20	30	20	30	20	30
200	L7s	7	30	40	30	40	30	40	30
240	L7s	7	30	40	30	40	30	40	30
220	L7s-2"	7	60	30	40	30	60		
240	L7s-2"	7	80	20	40	20	80		
260	L7s-2"	7	80	30	40	30	80		
280	L7s-2"	7	80	40	40	40	80		
300	L8s-2"	8	80	30	80	30	80		
320	L8s-2"	8	80	40	80	40	80		



Controsoffitto Easyaccess di FANTONI⁶



4 CLT by STORA ENSO, Technical Brochure, p. 6
 5 CLT by STORA ENSO, Technical Brochure, p. 7
 6 AP Acoustic Paneling By FANTONI, Brochure, p. 36

Isolante fibra di legno Isoroccia 110 di KNAUF⁷

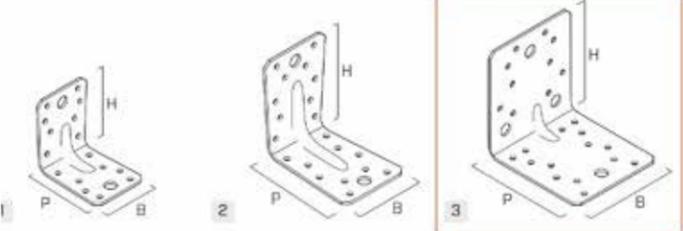
Prodotto		Caratteristiche			
Denominazione commerciale Isoroccia® 110		Caratteristiche	Valore	Unità di misura	Norma
Descrizione Pannello rigido in lana di roccia a densità medio alta, senza rivestimento, conforme alla norma UNI EN 13163.		Densità nominale (t 10%)	110	kg/m³	UNI EN 14022
Campo d'applicazione Isolamento termico, acustico e protezione al fuoco di pareti divisorie e controsoffitti realizzate con il sistema a secco. Per le modalità di installazione e per i rapporti di prova, fare riferimento alla documentazione tecnica Knauf ed al Settore Tecnico.		Dimensione dei pannelli	1000 x 600	mm	
		Spessori disponibili	40, 60, 80, 100	mm	
		Conduttività termica λ _{0,025}	0,035	W/mK	UNI EN 12939
		Razione al fuoco (Euroclass)	A1	-	UNI EN 12601
		Calore specifico (C _p)	1,030	J/kgK	UNI EN 12524
		Resistenza alla diffusione del vapore	1	μ	UNI EN 12086
		Assorbimento d'acqua a breve termine - W _B	<1,0	kg/m²	UNI EN 14020
		Resistenza al passaggio d'aria - AF	>30	l/s/m²	UNI EN 2853
		Temperatura di fusione lana di roccia	>1.000	°C	-
		Classe di fuoco di spessore - T	T1 (fino a 1mm)	%	UNI EN 821
		Spessore disponibile mm	Resistenza termica "R _s " m²/KW	Dimensioni mm	m² / pallet
		40	1,10	1000x600	78,8
		60	1,70	1000x600	54
		80	2,25	1000x600	38,4
		100	3,40	1000x600	25,4

Membrana freno a vapore LDS2 SILK di KNAUF⁸



Caratteristiche	
Materiale	Wella in polipropilene con rivestimento in polidipolimeri
Peso superficiale	ca. 110 g/m² ± 10%
Comportamento al fuoco	1
Resistenza alle temperature	-40° C. fino a 80° C.
Impermeabilità	superata a 2 ifa
Resistenza all'umidità	superata
Tesi di resistenza alle sostanze chimiche	superata
Permeabilità al vapore acqueo valore μ	2 m
Fuoco di stoppamento	lunghezza: 170 N / 5 cm trasversale: 170 N / 5 cm
Resistenza alla lacerazione (chiodi)	lunghezza: 70 N trasversale: 70 N
Dilatazione	lunghezza: 30% trasversale: 30%
Resistenza ai raggi UV	3 mesi
Esposizione alla intemperie	max. 3 mesi
lunghezza rotolo	1,5 m
lunghezza parete	30 m
m²/rotolo	75

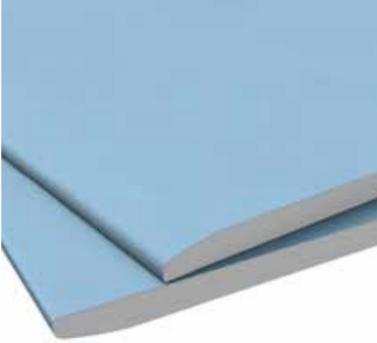
Hold Down WBR THIN 10020 di ROTHBLAAS⁹



CODICE	B	P	H	s	n Ø5	n Ø11	pz.
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	pz.	pz.	
WBR07015	55	70	70	1,5	16	2	100
WBR09015	65	90	90	1,5	20	2	100
WBR10020	90	100	100	2,0	24	4	50

7 www.knauf.it, schede prodotti, Isoroccia 110
 8 www.knauf.it, schede prodotti, LDS2 SILK
 9 Rothblaas - catalogo piastre e connettori, p. 342

Cartongesso DIAMANT 3 di KNAUF¹⁰



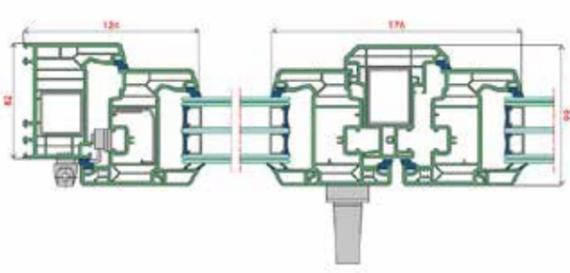
Dati tecnici

■ Dimensioni della lastra (in mm):
3.000 / 2.000
1.200

■ Forma dei bordi
- Bordi longitudinali rivestiti di cartone: **AK**

Tipo di lastra: DFHQIR
Classe di reazione al fuoco EN 13501-1: A2-s1,d0
Fattore di resistenza alla diffusione del vapore acqueo μ :
■ a secco: 10
■ a umido: 4
Conducibilità termica λ : W/(m·K) 0,25
Capacità d'assorbimento d'acqua (totale): % ≤ 10
Densità: kg/m³ ≥ 1000
Peso della lastra: kg/m² ca. 12,8
Carico a flessione:
- Longitudinale: N ≥ 725
- Trasversale: N ≥ 300
Durezza superficiale (indentazione): mm Ø ≤ 15

Infissi pvc TK 82 MD di TEKLA¹¹



PERMEABILITÀ ALL'ARIA (EN 1026 - UNI EN 12207)
classe 4* - classe max ottenibile: 4

TENUTA ALL'ACQUA (EN 1027 - UNI EN 12208)
classe 7A*** - classe max ottenibile: 9A

RESISTENZA AL VENTO (EN 12211 - UNI EN 12210)
classe C4/B4* - classe max ottenibile: C5

TRASMITTANZA TERMICA ad UF minore corrisponde un maggiore isolamento (UNI EN ISO 10077/1-2)
UF centrale: = 1,1 W/m²K**
Uw = 1,0 W/m²K**

Intonaco Dursilite di MAPEI¹²

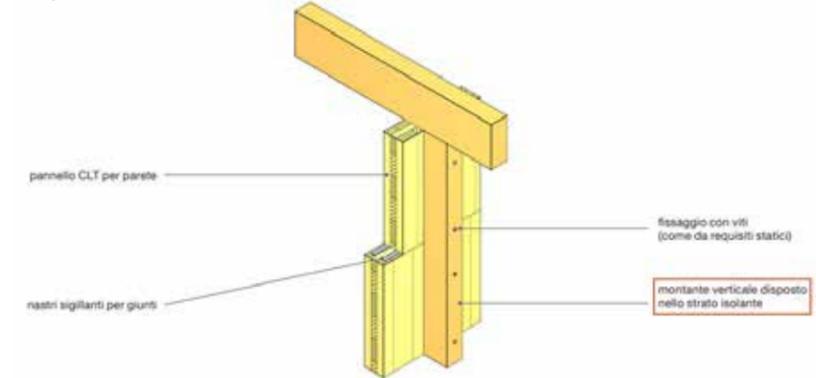


DURSILITE

Idropittura murale lavabile per interni a bassa presa di sporco e ottima lavabilità.

DATI TECNICI:
Consistenza: liquido pastoso.
Colore: bianco o tinte ottenibili con sistema di colorazione automatico ColorMap®.
Massa volumica (EN ISO 2811-1) (g/cm³): ca. 1,50.
Residuo secco (EN ISO 3251) (%): ca. 65.
Rapporto di diluizione: 15-20% di acqua.
Tempi di attesa tra una mano e l'altra: 6-12 ore.
Temperatura di applicazione permessa: da +5°C a +35°C.
Pulizia: acqua.
Immagazzinaggio: 24 mesi.
Applicazione: pennello, rullo o spruzzo.
Consumo: 0,3-0,4 kg/m² (riferito a due mani di prodotto).
Confezioni: 5 e 20 kg.

Tasselli per isolante Montanti di STORA ENSO¹³



Pavimento Marmoleum Solid di FORBO¹⁴

collezioni Marmoleum Solid

Codice colore	Nome	Collezione	Struttura	Spessore 2,0 mm	Spessore 2,5 mm	Cordolo di saldatura	Valore LRV	Codice NCS
3369	titanium	Solid	Walton	●	●	UNI	48%	NCS 5 2502-Y

Viti e chiodi TBS 6/260 e VGS 9/160 di ROTHOBLAAS¹⁵

d_1 (mm)	d_{eff} (mm)	CODICE	L (mm)	b (mm)	A (mm)	pz.
6	15,5	TBS660	60	40	20	100
		TBS670	70	40	30	100
		TBS680	80	50	30	100
		TBS690	90	50	40	100
		TBS6100	100	60	40	100
		TBS6120	120	75	45	100
		TBS6140	140	75	55	100
		TBS6160	160	75	65	100
		TBS6180	180	75	105	100
		TBS6200	200	75	125	100
		TBS6220	220	100	120	100
		TBS6240	240	100	140	100
TBS6260	260	100	160	100		
TBS6280	280	100	180	100		
TBS6300	300	100	200	100		

TBS
VITI A TERZA LAMBA

CAUTELERIE:
- Non usare in legno di tipo duro.
- Non usare in legno di tipo tenero con nodi.
- Non usare in legno di tipo tenero con nodi e in legno di tipo duro con nodi.
- Non usare in legno di tipo tenero con nodi e in legno di tipo duro con nodi.

d_1 (mm)	CODICE	L (mm)	b (mm)	pz.	
9	TX 40	VGS9100	100	90	25
		VGS9120	120	110	25
		VGS9140	140	130	25
		VGS9160	160	150	25
		VGS9180	180	170	25
		VGS9200	200	190	25
		VGS9220	220	210	25
		VGS9240	240	230	25
		VGS9260	260	250	25
		VGS9280	280	270	25
		VGS9300	300	290	25
		VGS9320	320	310	25
VGS9340	340	330	25		
VGS9360	360	350	25		
VGS9380	380	370	25		
VGS9400	400	390	25		
VGS9440	440	430	25		
VGS9480	480	470	25		
VGS9520	520	510	25		

VGS
CONNETTORE TUTTO FILETTATO A TESTA ENASATA ESAGONALE

TRAZIONE:
- Non usare in legno di tipo duro.
- Non usare in legno di tipo tenero con nodi.
- Non usare in legno di tipo tenero con nodi e in legno di tipo duro con nodi.

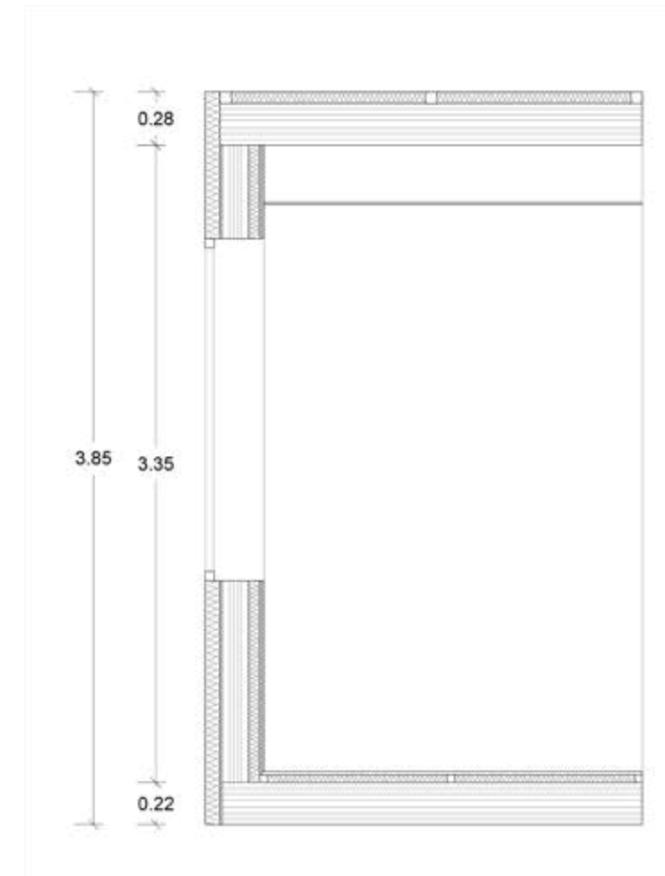
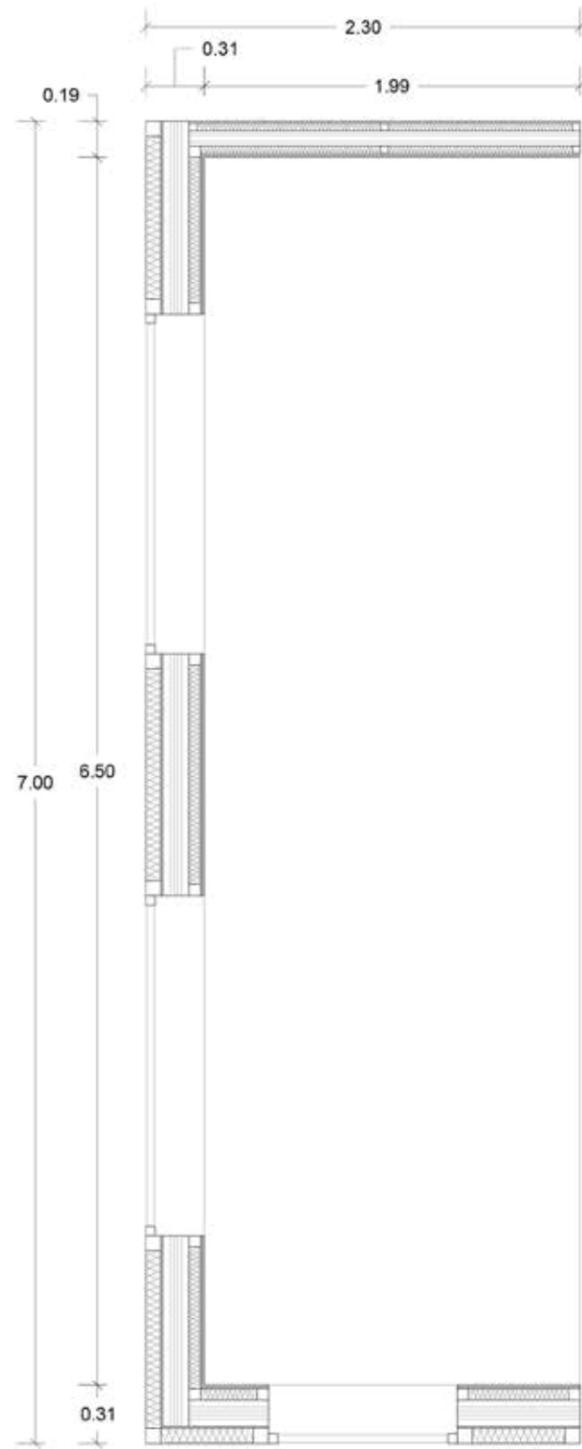
TRATTAMENTO A FREDDO:
- Non usare in legno di tipo duro.
- Non usare in legno di tipo tenero con nodi.
- Non usare in legno di tipo tenero con nodi e in legno di tipo duro con nodi.

CAUTELERIE:
- Non usare in legno di tipo duro.
- Non usare in legno di tipo tenero con nodi.
- Non usare in legno di tipo tenero con nodi e in legno di tipo duro con nodi.

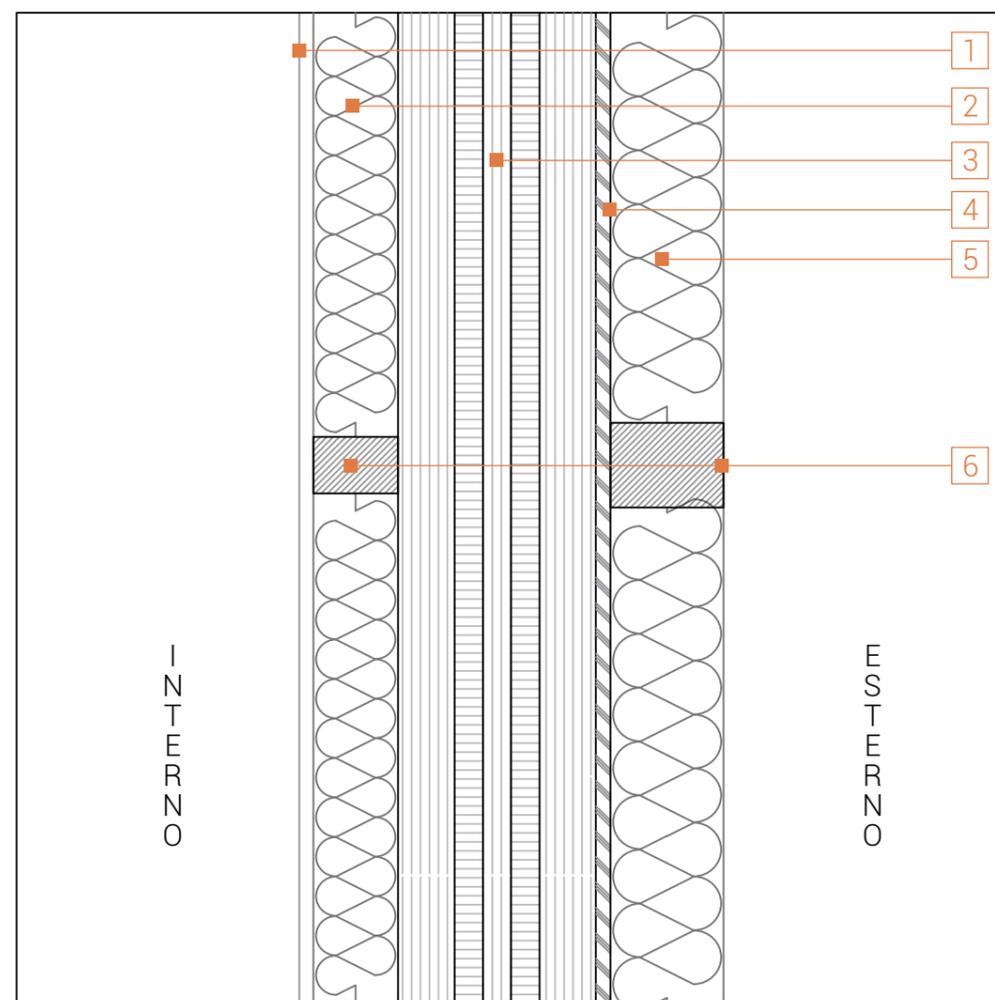
10 www.knauf.it, schede prodotti, DIAMANT 3
11 www.teklaweb.eu, schede prodotti, infisso PVC triplo vetro TK 82 MD
12 www.mapei.com, schede prodotti, gamma Dursilite

13 CLT by STORA ENSO, Technical Brochure, p. 24
14 Marmoleum edizione 2021 by FORBO, Brochure tecnica, p. 19
15 Rothoblaas - Catalogo viti e connettori per legno, p. 189

Pianta e Sezione



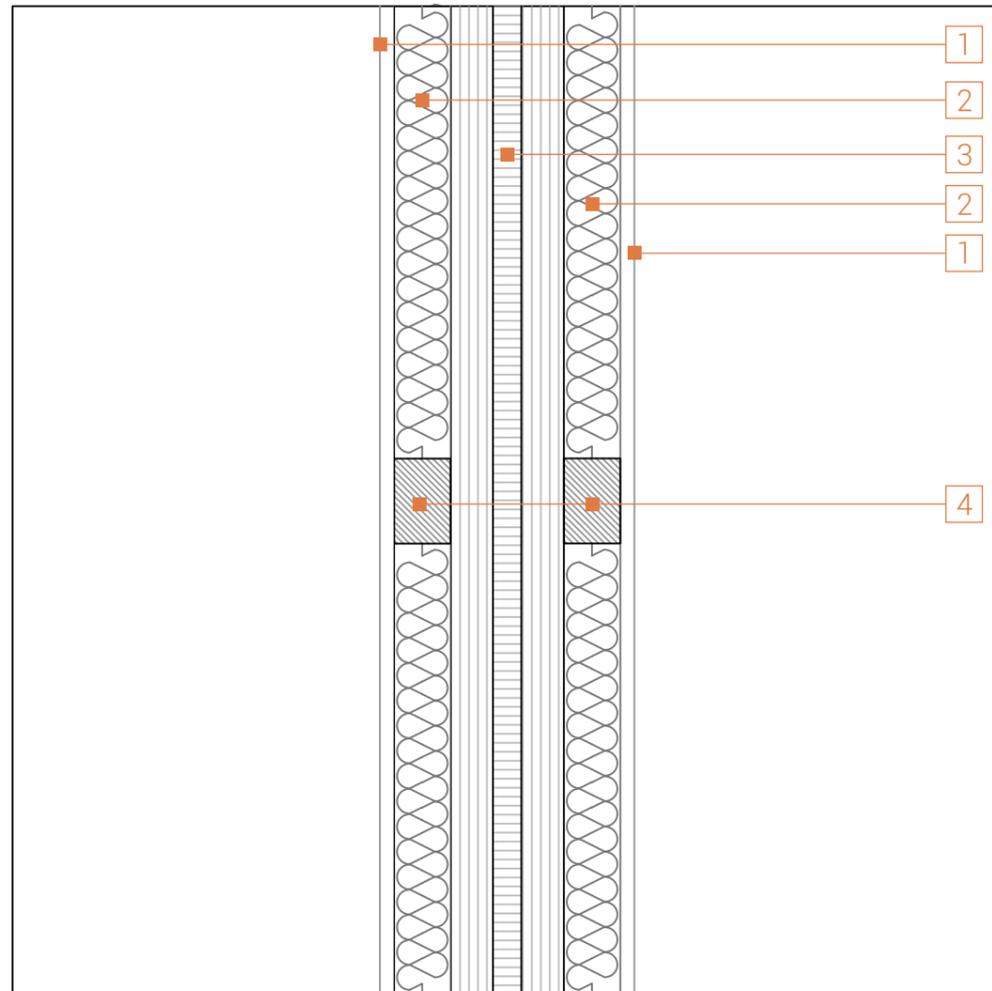
Parete **Portante**



1. Lastra Cartongesso sp. 10 mm
2. Isolante fibra di legno sp. 60 mm
3. CLT C5s sp. 140 mm
4. Membrana freno vapore sp. 10 mm
5. Isolante fibra di legno sp. 80 mm
6. Montanti in legno per isolante

Per le pareti portanti, ovvero tutte quelle che danno sull'esterno, è stato scelto un pacchetto di spessore totale pari a 30 cm (senza contare il rivestimento di facciata). Come elemento parete si è optato per un pannello in CLT (Cross Laminated Timber) della ditta finlandese STORA ENSO, in particolare il pannello CLT C5s dello spessore di 14 cm. Sul lato esterno del pannello in CLT è stata posta una membrana protettiva contro l'umidità che previene le infiltrazioni. Sia internamente che esternamente sono stati posizionati due strati di isolante in fibra di legno, di 8 cm sul lato esterno e di 6 cm su quello interno; i rotoli di isolante sono intervallati da montanti in legno. Verso l'interno il pacchetto è chiuso da uno strato di lastre di cartongesso di 1 cm di spessore.

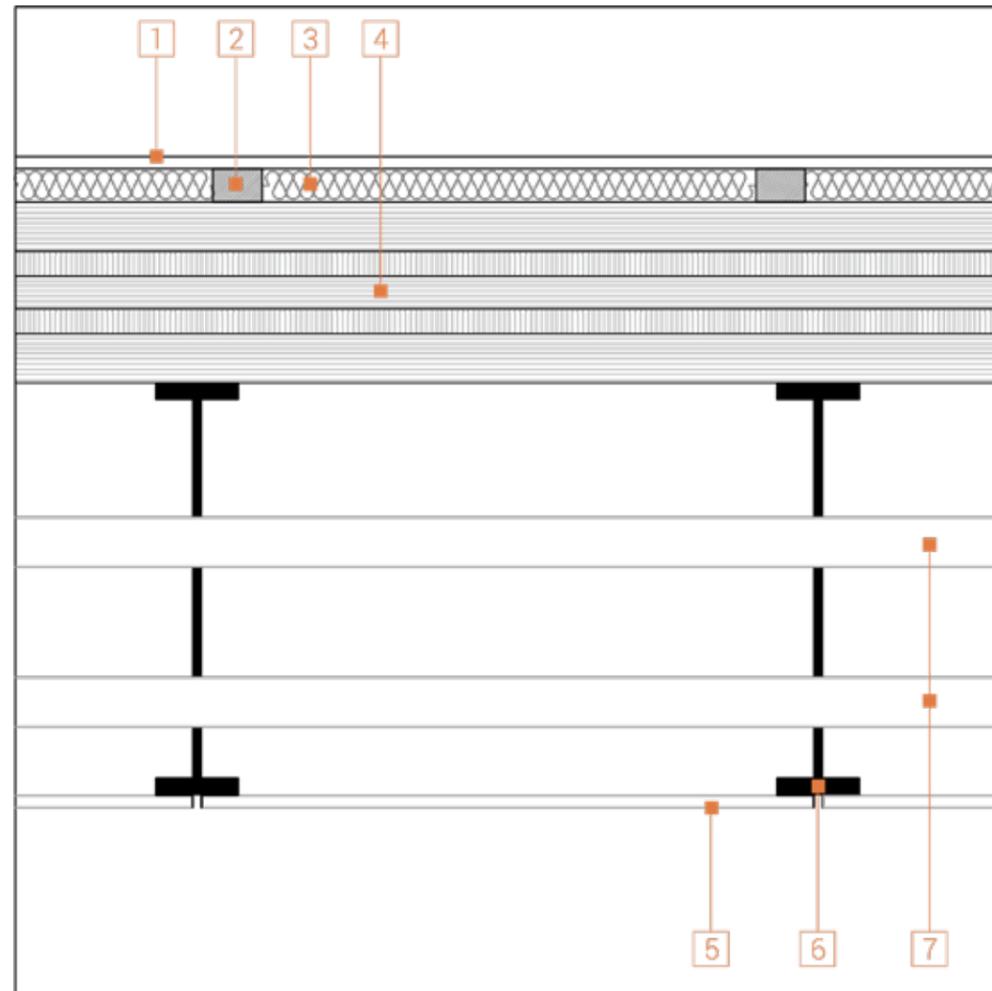
Parete **Divisoria**



1. Lastra Cartongesso sp. 10 mm
2. Isolante fibra di legno sp. 40 mm
3. CLT C3s sp. 80 mm
4. Montanti in legno per isolante

La parete divisoria è composta da un pacchetto di spessore totale pari a 18 cm. Al centro è disposto un pannello CLT della ditta STORAENSO, il CLT C3s di spessore pari a 8 cm; ai due lati sono disposti prima uno strato di isolante in fibra di legno di spessore 4 cm con i relativi montanti in legno intervallati e due strati di cartongesso, le cui lastre sono spesse 1 cm.

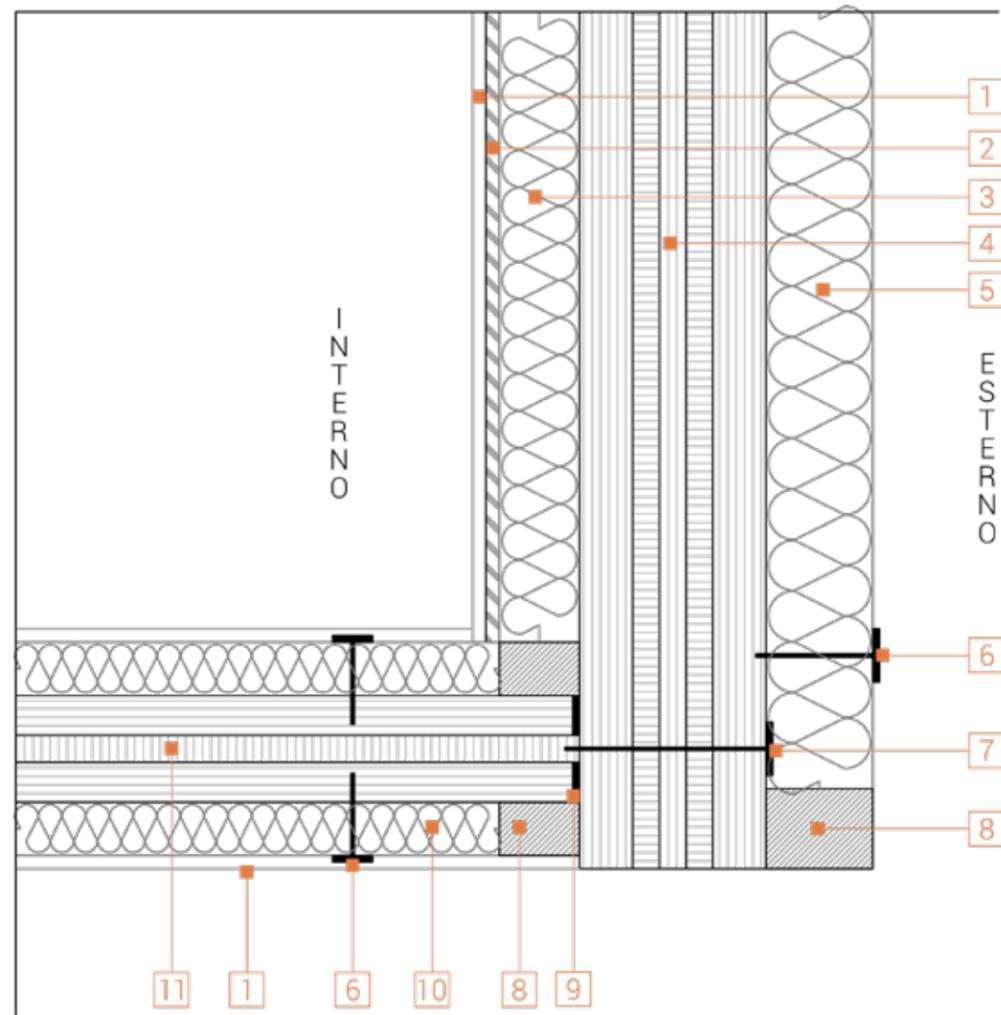
Solaio **Intermedio**



1. Pavimento grès 15 mm
2. Montanti per isolamento
3. Isolamento anti-calpestio sp. 40 mm
4. CLT L7s-2 220 mm
5. Lastra controsoffitto apribile sp. 10 mm
6. Giunti per controsoffitto
7. Impianti

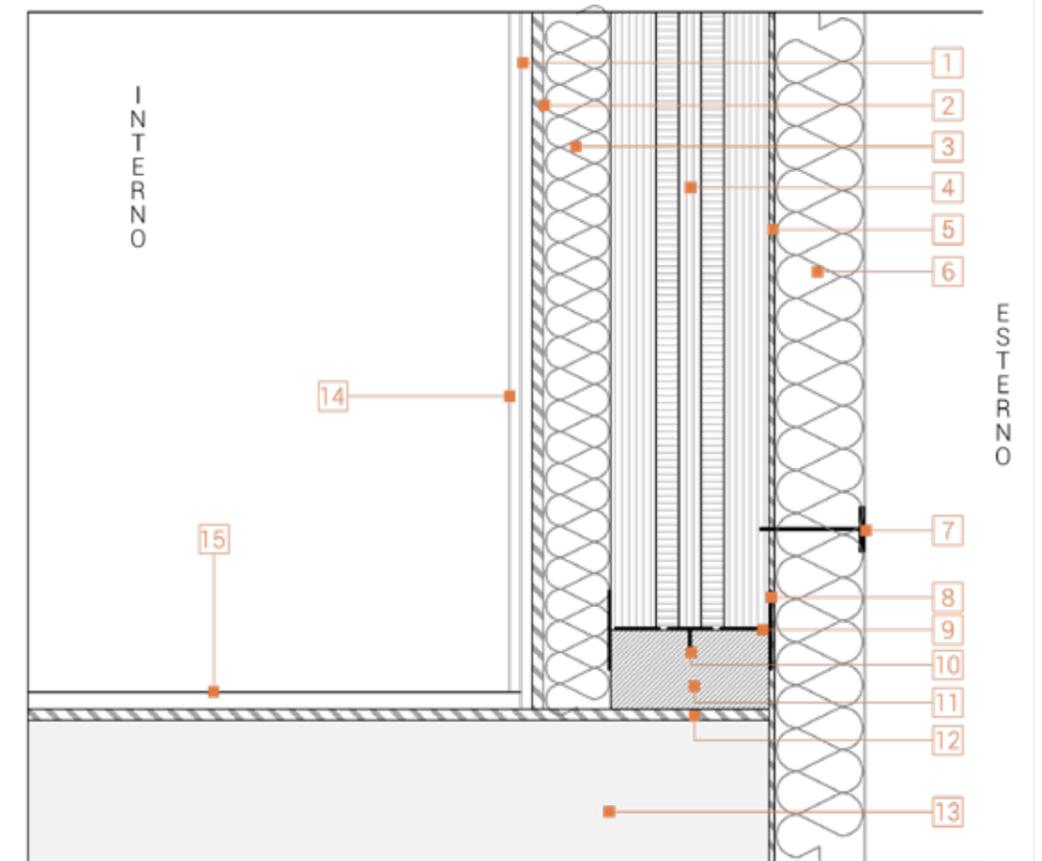
Il solaio intermedio ha uno spessore di 27,5 cm, senza contare il controsoffitto con cui raggiunge un totale di 79,10 cm. L'elemento portante è costituito dal pannello CLT L7s-2 di 22 cm della ditta finlandese STORA ENSO; al di sopra di esso è posto uno strato di isolamento anti-calpestio intervalato da montanti in legno dello spessore di 4 cm. L'ultimo strato è invece il pavimento di grès porcellanato di 1,5 cm. Sotto all'elemento in CLT è stato scelto di inserire un controsoffitto fonoisolante, il "Easyaccess" della ditta italiana FANTONI, facente parte della serie "Acoustic Paneling System". Esso è composto da un sistema di giunti in metallo che sorreggono lastre apribili che consentono l'ispezione e manutenzione degli impianti, le cui tubature e installazioni vi passano al di sopra.

Parete Portante Parete Divisoria



1. Lastra Cartongesso sp. 10 mm
2. Membrana freno vapore sp. 10 mm
3. Isolante fibra di legno sp. 60 mm
4. CLT C5s sp. 140 mm
5. Isolante fibra di legno sp. 80 mm
6. Vite per isolante
7. Vite ancoraggio pannelli CLT
8. Montanti di legno per isolante
9. Nastro coprigiunto
10. Isolante fibra di legno sp. 40 mm
11. CLT C3s sp. 80 mm

Attacco ATerra Parete Esterna



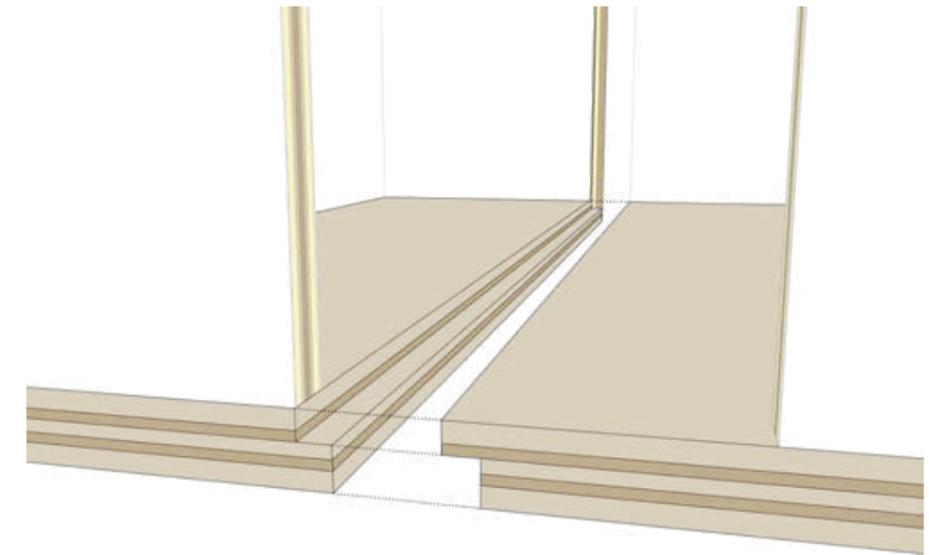
1. Lastra Cartongesso sp. 10 mm
2. Membrana freno vapore sp. 10 mm
3. Isolante fibra di legno sp. 60 mm
4. CLT C5s sp. 140 mm
5. Impermeabilizzazione verticale
6. Isolante fibra di legno sp. 80 mm
7. Vite per isolante
8. Ancoraggio della parete alla soglia
9. Nastro coprigiunto
10. Ancoraggio soglia
11. Soglia
12. Isolamento contro l'umidità dal basso
13. Fondazioni
14. Intonaco interno
15. Pavimento

Connessione dei Moduli

I moduli vengono connessi l'uno all'altro in cantiere con meccanismi a incastro.

In verticale i pannelli in CLT che costituiscono le pareti preetano, a seconda che vadano posizionati al piano terra o al primo piano, delle parti sporgenti o delle bucatore che si andranno ad unire a formare un incastro maschio-femmina. A terra, sopra le fondazioni, viene posto un profilo di legno che segue la posizione dei moduli. Questo, giuntato alle fondazioni, andrà ad unire i moduli del piano terra al basamento.

Orizzontalmente i moduli vengono uniti attraverso dei nastri coprigiunto in concomitanza dei pannelli in CLT delle pareti e a incastro in corrispondenza dei solai. In particolare, grazie a un'accurata progettazione iniziale, i pannelli dei solai saranno preventivamente tagliati con una soglia per farli sovrapporre e poi giuntati per mezzo di viti e nastri coprigiunto.



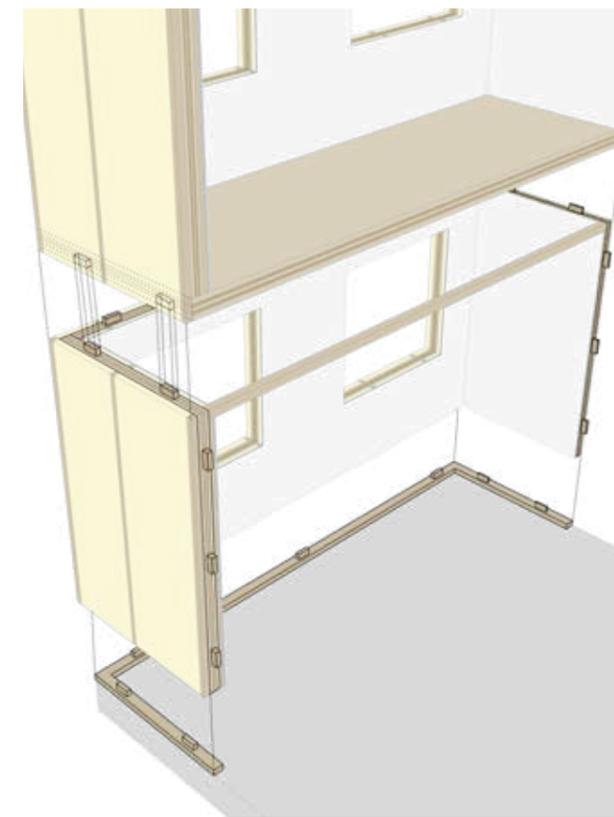
Connessione solai



Unione dei moduli, STORA ENSO dossier



Taglio dei pannelli solaio, STORA ENSO dossier



Connessione dei moduli in verticale

Per il calcolo delle sollecitazioni e per verificare se i pannelli scelti per un modulo tipo sono adatti per la realizzazione degli ampliamenti, sono state svolte delle analisi mediante Calculatis¹⁶, un software online gratuito messo a disposizione dall'azienda fornitrice dei pannelli CLT utilizzati in questa tesi, STORA ENSO.

Nel programma possono essere inseriti i pannelli per le pareti e per i solai e definire gli eventuali fori per le finestre. Successivamente vengono inseriti i carichi di esercizio definiti da normativa e il programma valuta il grado di sfruttamento del pannello scelto. Trattandosi di moduli da utilizzarsi per ampliamenti scolastici il sovraccarico accidentale da considerare è quello definito dalla categoria C (ambienti suscettibili ad affollamento), pari a 3 kN/m. È importante che l'analisi risulti inferiore al 100% di sfruttamento per definire valide le scelte attuate.

I calcoli per gli state limite effettuati dal software utilizzano la Teoria di Timoshenko per la quale bisogna prendere in considerazione le deformazioni di taglio e di flessione.

Sempre con l'utilizzo del software Calculatis sono state realizzate delle analisi per la scelta dei connettori da utilizzare per le giunzioni tra i pannelli, hold down, viti e chiodi. I risultati propongono modelli di connettori e le distanze a cui essi devono essere installati.

Inoltre sono state effettuate analisi di fisica tecnica per calcolare il valore della trasmittanza U per i pacchetti delle pareti, interne ed esterne, e per il solaio. Le analisi hanno riportato esito positivo e la scelta dei pannelli del modulo e dei pacchetti delle stratigrafie sono state così confermate. Nelle pagine successive vengono riportati i risultati ottenuti con Calculatis.

16 <https://calculatis.storaenso.com/>

progetto

grado di sfruttamento totale 62 %

ULS	16 %	ULS fuoco	0 %	SLS	48 %	SLS vibrazione	62 %	appoggio	4 %
-----	------	-----------	-----	-----	------	----------------	------	----------	-----

sezione: CLT 220 L7s - 2

strato	spessore	orientazione	materiale
1	30,0 mm	0°	Abete C24 ETA (2019)
2	30,0 mm	0°	Abete C24 ETA (2019)
3	30,0 mm	90°	Abete C24 ETA (2019)
4	40,0 mm	0°	Abete C24 ETA (2019)
5	30,0 mm	90°	Abete C24 ETA (2019)
6	30,0 mm	0°	Abete C24 ETA (2019)
7	30,0 mm	0°	Abete C24 ETA (2019)
t_{CLT}	220,0 mm		

parametri del materiale

materiale	$f_{m,k}$	$f_{d,k}$	$f_{t,90,k}$	$f_{e,0,k}$	$f_{e,90,k}$	$f_{r,k}$	$f_{r,k, min}$	$E_{0,mean}$	G_{mean}	$G_{t,mean}$
	[N/mm ²]									
Abete C24 ETA (2019)	24,00	14,00	0,12	21,00	2,50	4,00	1,25	12.000,00	690,00	50,00

carico

tipologie di carico

	categoria di carico	tipo	durata	Kmod	γ_{ref}	γ_{sup}	ψ_0	ψ_1	ψ_2
LC1	pesi propri strutturali	G	permanente	0,6	1	1,3	1	1	1
LC2	sovraccarico accidentale cat. C: Ambienti suscettibili di affollamento	Q	breve durata	0,9	0	1,5	0,7	0,7	0,6

LC1: pesi propri strutturali

carico uniformemente distribuito	
campata	valore del carico al punto iniziale
	[kN/m]
1	2,53



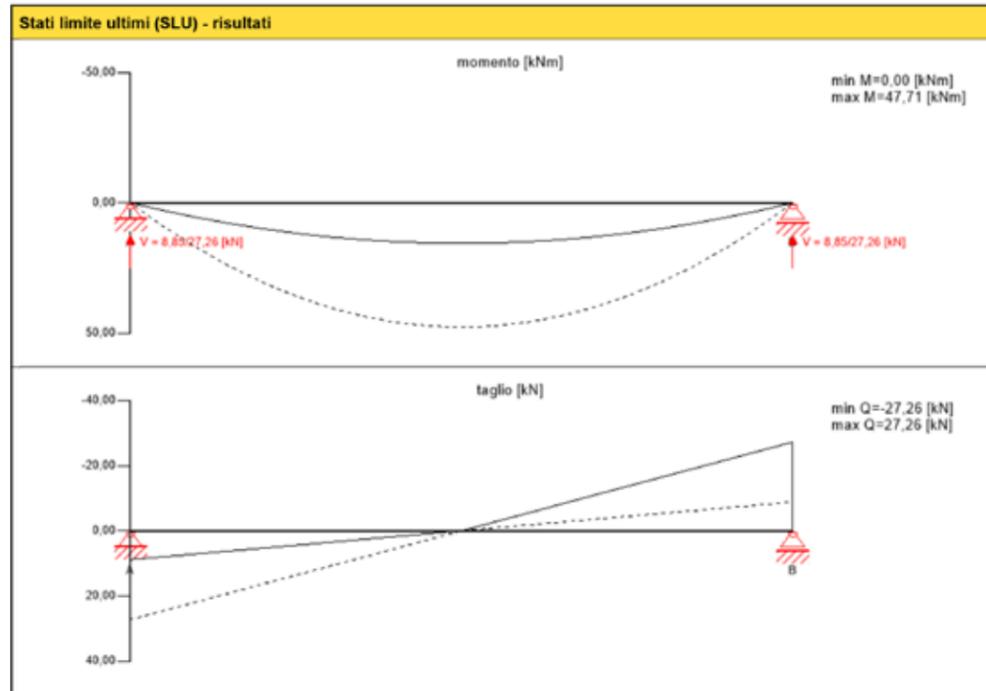
© 2022 - Calculatis by Stora Enso - Version 4.03.0
L'utilizzo dei risultati del software è permesso solamente nel caso in cui la loro correttezza e completezza è stata verificata ed approvata da un ingegnere strutturista/ ingegnere esperto della fisica degli edifici. Per maggiori informazioni vedere le Condizioni d'uso.

LC2:sovraccarico accidentale cat. C: Ambienti suscettibili di affollamento	
carico uniformemente distribuito	
campata	valore del carico al punto iniziale
	[kN/m]
1	3,00

ULS combinazione	
	regola di combinazione
LCO1	1,30/1,00 * LC1
LCO2	1,30/1,00 * LC1 + 1,50/0,00 * LC2

SLS caratteristica combinazione	
	regola di combinazione
LCO3	1,00/1,00 * LC1
LCO4	1,00/1,00 * LC1 + 1,00/0,00 * LC2

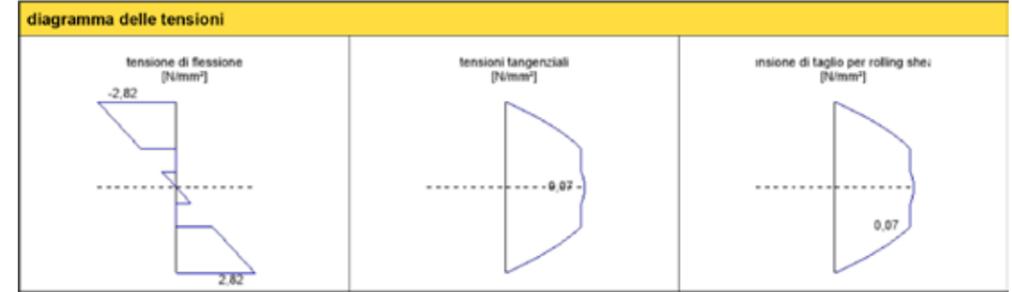
SLS quasi permanente combinazione	
	regola di combinazione
LCO5	1,00/1,00 * LC1
LCO6	1,00/1,00 * LC1 + 1,00/0,00 * 0,60 * LC2



ULS verifica a flessione									
campata	dist.	$f_{t,k}$	γ_m	k_{nod}	$k_{sys,y}$	$f_{m,y,d}$	$M_{y,d}$	$\sigma_{m,y,d}$	rapporto
	[m]	[N/mm ²]	[-]	[-]	[-]	[N/mm ²]	[kNm]	[N/mm ²]	
1	3,5	24,00	1,35	0,90	1,10	17,60	47,71	2,82	16% LCO2

ULS verifica a taglio									
campata	dist.	$f_{t,k}$	γ_m	k_{nod}	$f_{t,d}$	V_d	$T_{r,d}$	rapporto	
	[m]	[N/mm ²]	[-]	[-]	[N/mm ²]	[kN]	[N/mm ²]		
1	7,0	4,00	1,35	0,90	2,67	-27,26	0,07	3%	LCO2

ULS rolling shear									
campata	dist.	$f_{t,k}$	γ_m	k_{nod}	$f_{t,d}$	V_d	$T_{r,d}$	rapporto	
	[m]	[N/mm ²]	[-]	[-]	[N/mm ²]	[kN]	[N/mm ²]		
1	7,0	1,15	1,35	0,90	0,77	-27,26	0,07	9%	LCO2



analisi della tensione di flessione			
$M_{y,d}$	= 47,71 kNm	$f_{t,k}$	= 24,00 N/mm ²
$M_{z,d}$	= 0,00 kNm	$f_{m,x,z}$	= 24,00 N/mm ²
$N_{t,d}$	= 0,00 kN	γ_m	= 1,35 -
		k_{nod}	= 0,90 -
		$k_{sys,y}$	= 1,10 -
		$k_{h,y,z}$	= 1,00 -
		$k_{h,x,z}$	= 1,00 -
		k_i	= 1,00 -
$\sigma_{t,d}$	= 0,00 N/mm ²	$f_{t,d}$	= 9,33 N/mm ²
$\sigma_{m,y,d}$	= 2,82 N/mm ²	$f_{m,y,d}$	= 17,60 N/mm ²
$\sigma_{m,x,d}$	= 0,00 N/mm ²	$f_{m,x,d}$	= 0,00 N/mm ²
grado di sfruttamento			16%

analisi delle tensioni tangenziali			
V_d	= -27,26 kN	$f_{t,k}$	= 4,00 N/mm ²
		γ_m	= 1,35
		k_{nod}	= 0,90
$T_{r,d}$	= 0,07 N/mm ²	$f_{t,d}$	= 2,67 N/mm ²
grado di sfruttamento			3%

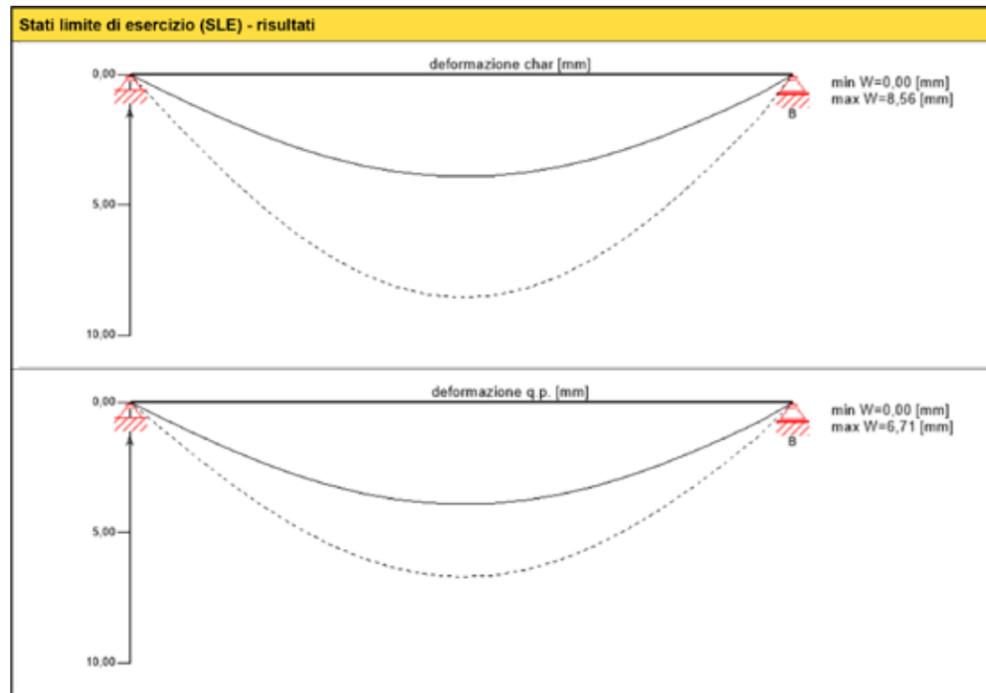
analisi per rolling shear			
V_d	= -27,26 kN	$f_{t,k}$	= 1,15 N/mm ²
		γ_m	= 1,35 -
		k_{nod}	= 0,90 -
$T_{r,d}$	= 0,07 N/mm ²	$f_{t,d}$	= 0,77 N/mm ²
grado di sfruttamento			9%



© 2022 - Calculatis by Stora Enso - Version 4.03.0
L'utilizzo dei risultati del software è permesso solamente nel caso in cui la loro correttezza e completezza è stata verificata ed approvata da un ingegnere strutturista/ ingegnere esperto della fisica degli edifici. Per maggiori informazioni vedere le Condizioni d'uso.



© 2022 - Calculatis by Stora Enso - Version 4.03.0
L'utilizzo dei risultati del software è permesso solamente nel caso in cui la loro correttezza e completezza è stata verificata ed approvata da un ingegnere strutturista/ ingegnere esperto della fisica degli edifici. Per maggiori informazioni vedere le Condizioni d'uso.



$w_{lim} = w[char]$

campata	K_{eff}	valore limite	w_{lim}	modulo di sezione	rapporto
		[-]	[mm]	[mm]	
1	1	L/300	23,3	8,6	37%

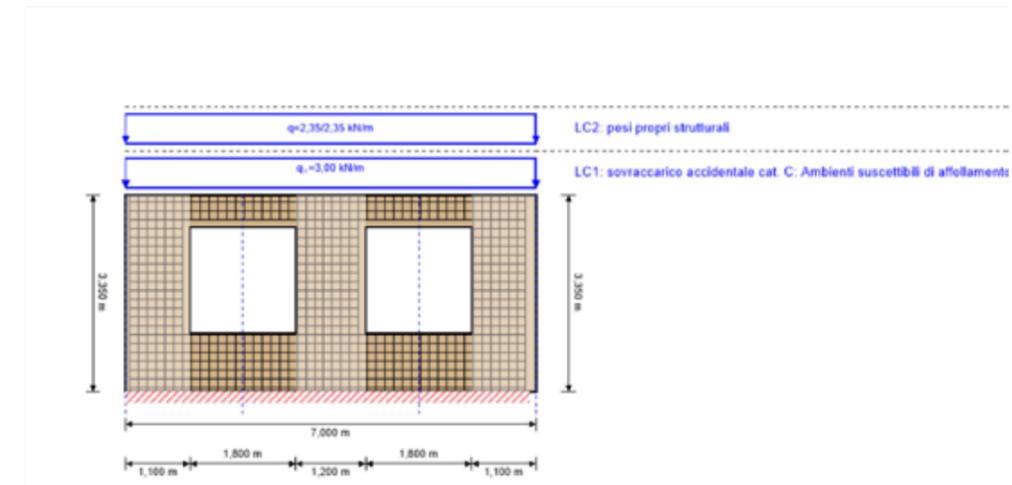
$w_{lim} = w[char] + w[q.p.] \cdot k_{def}$

campata	K_{eff}	valore limite	w_{lim}	modulo di sezione	rapporto
		[-]	[mm]	[mm]	
1	1	L/200	35,0	15,3	44%

$w_{lim,fin} = w[q.p.] + w[q.p.] \cdot k_{def}$

campata	K_{eff}	valore limite	w_{lim}	modulo di sezione	rapporto
		[-]	[mm]	[mm]	
1	1	L/250	28,0	13,4	48%

progetto



grado di sfruttamento totale 10 %

ULS	10 %	ULS fuoco	!	SLS	3 %
-----	------	-----------	---	-----	-----

sezione: CLT 140 C5s

strato	spessore	orientazione	materiale
1	40,0 mm	90°	Abete C24 ETA (2019)
2	20,0 mm	0°	Abete C24 ETA (2019)
3	20,0 mm	90°	Abete C24 ETA (2019)
4	20,0 mm	0°	Abete C24 ETA (2019)
5	40,0 mm	90°	Abete C24 ETA (2019)
t_{CLT}	140,0 mm		

parametri del materiale

materiale	$f_{m,k}$	$f_{t,0,k}$	$f_{t,90,k}$	$f_{c,0,k}$	$f_{c,90,k}$	$f_{r,k}$	$f_{r,min}$	$E_{0,mean}$	G_{mean}	$G_{r,mean}$
	[N/mm ²]									
Abete C24 ETA (2019)	24,00	14,00	0,12	21,00	2,50	4,00	1,25	12.000,00	690,00	50,00

carico

tipologie di carico

	categoria di carico	tipo	durata	Kmod	γ_{ref}	γ_{sup}	ψ_0	ψ_1	ψ_2
LC2	pesi propri strutturali	G	permanente	0,6	1	1,3	1	1	1
LC1	sovraccarico accidentale cat. C: Ambienti suscettibili di affollamento	Q	breve durata	0,9	0	1,5	0,7	0,7	0,6

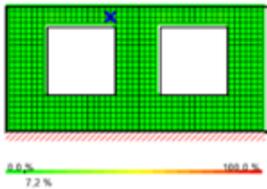


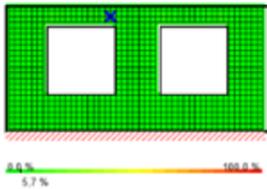
LC2: pesi propri strutturali			
carico trapezoidale			
distanza dal punto iniziale	$q_{k,a}$	valore del carico al punto finale	lunghezza del carico
[m]	[kN/m]		[m]
0,000	2,345	2,35	7,000

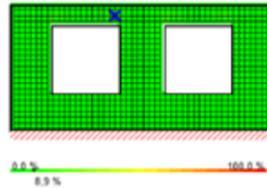
LC1: sovraccarico accidentale cat. C: Ambienti suscettibili di affollamento	
carico uniformemente distribuito	
q_k	
[kN/m]	
3	

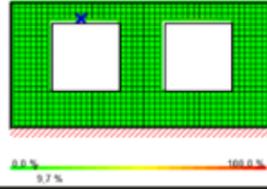
ULS combinazione	
	regola di combinazione
LCO1	1,30/1,00 * LC2
LCO2	1,30/1,00 * LC2 + 1,50/0,00 * LC1

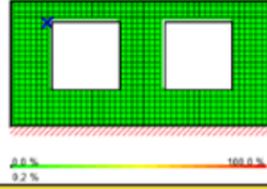
Stati limite ultimi (SLU) - risultati

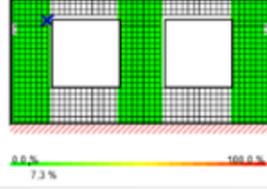
Gradi di sfruttamento a taglio nel piano riferito alla sezione netta																																	
	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="8">LCO2</th> </tr> <tr> <th>Id</th> <th>X</th> <th>Z</th> <th>k_{red}</th> <th>$f_{p,Netto,k}$</th> <th>Q</th> <th>$T_{p,Netto,d}$</th> <th>rapporto</th> </tr> <tr> <th>[-]</th> <th>[m]</th> <th>[m]</th> <th>[-]</th> <th>[N/mm²]</th> <th>[kN]</th> <th>[N/mm²]</th> <th>[%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>985</td> <td>2,775</td> <td>3,075</td> <td>0,9</td> <td>3,9</td> <td>-2,79</td> <td>0,19</td> <td>7%</td> </tr> </tbody> </table>	LCO2								Id	X	Z	k_{red}	$f_{p,Netto,k}$	Q	$T_{p,Netto,d}$	rapporto	[-]	[m]	[m]	[-]	[N/mm ²]	[kN]	[N/mm ²]	[%]	985	2,775	3,075	0,9	3,9	-2,79	0,19	7%
LCO2																																	
Id	X	Z	k_{red}	$f_{p,Netto,k}$	Q	$T_{p,Netto,d}$	rapporto																										
[-]	[m]	[m]	[-]	[N/mm ²]	[kN]	[N/mm ²]	[%]																										
985	2,775	3,075	0,9	3,9	-2,79	0,19	7%																										

Gradi di sfruttamento a taglio nel piano riferito alla sezione lorda																																	
	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="8">LCO2</th> </tr> <tr> <th>Id</th> <th>X</th> <th>Z</th> <th>k_{red}</th> <th>f</th> <th>Q</th> <th>τ</th> <th>rapporto</th> </tr> <tr> <th>[-]</th> <th>[m]</th> <th>[m]</th> <th>[-]</th> <th>[N/mm²]</th> <th>[kN]</th> <th>[N/mm²]</th> <th>[%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>985</td> <td>2,775</td> <td>3,075</td> <td>0,9</td> <td>3,5</td> <td>-2,79</td> <td>0,13</td> <td>6%</td> </tr> </tbody> </table>	LCO2								Id	X	Z	k_{red}	f	Q	τ	rapporto	[-]	[m]	[m]	[-]	[N/mm ²]	[kN]	[N/mm ²]	[%]	985	2,775	3,075	0,9	3,5	-2,79	0,13	6%
LCO2																																	
Id	X	Z	k_{red}	f	Q	τ	rapporto																										
[-]	[m]	[m]	[-]	[N/mm ²]	[kN]	[N/mm ²]	[%]																										
985	2,775	3,075	0,9	3,5	-2,79	0,13	6%																										

Gradi di sfruttamento a taglio-torsione sulla superficie di incollaggio fra le tavole																																	
	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="8">LCO2</th> </tr> <tr> <th>Id</th> <th>X</th> <th>Z</th> <th>k_{red}</th> <th>$f_{c,JP,T,k}$</th> <th>Q</th> <th>$T_{T,Node,d}$</th> <th>rapporto</th> </tr> <tr> <th>[-]</th> <th>[m]</th> <th>[m]</th> <th>[-]</th> <th>[N/mm²]</th> <th>[kN]</th> <th>[N/mm²]</th> <th>[%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>985</td> <td>2,775</td> <td>3,075</td> <td>0,9</td> <td>2,5</td> <td>-2,79</td> <td>0,15</td> <td>9%</td> </tr> </tbody> </table>	LCO2								Id	X	Z	k_{red}	$f_{c,JP,T,k}$	Q	$T_{T,Node,d}$	rapporto	[-]	[m]	[m]	[-]	[N/mm ²]	[kN]	[N/mm ²]	[%]	985	2,775	3,075	0,9	2,5	-2,79	0,15	9%
LCO2																																	
Id	X	Z	k_{red}	$f_{c,JP,T,k}$	Q	$T_{T,Node,d}$	rapporto																										
[-]	[m]	[m]	[-]	[N/mm ²]	[kN]	[N/mm ²]	[%]																										
985	2,775	3,075	0,9	2,5	-2,79	0,15	9%																										

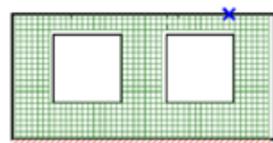
grado di sfruttamento per l'azione assiale orizzontale																																	
	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="8">LCO2</th> </tr> <tr> <th>Id</th> <th>X</th> <th>Z</th> <th>k_{red}</th> <th>$f_{c,d}$</th> <th>$N_{h,max}$</th> <th>$\sigma_{h,max}$</th> <th>rapporto</th> </tr> <tr> <th>[-]</th> <th>[m]</th> <th>[m]</th> <th>[-]</th> <th>[N/mm²]</th> <th>[kN]</th> <th>[N/mm²]</th> <th>[%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>933</td> <td>1,875</td> <td>2,925</td> <td>0,9</td> <td>9,33</td> <td>5,41</td> <td>0,90</td> <td>10%</td> </tr> </tbody> </table>	LCO2								Id	X	Z	k_{red}	$f_{c,d}$	$N_{h,max}$	$\sigma_{h,max}$	rapporto	[-]	[m]	[m]	[-]	[N/mm ²]	[kN]	[N/mm ²]	[%]	933	1,875	2,925	0,9	9,33	5,41	0,90	10%
LCO2																																	
Id	X	Z	k_{red}	$f_{c,d}$	$N_{h,max}$	$\sigma_{h,max}$	rapporto																										
[-]	[m]	[m]	[-]	[N/mm ²]	[kN]	[N/mm ²]	[%]																										
933	1,875	2,925	0,9	9,33	5,41	0,90	10%																										

grado di sfruttamento per l'azione assiale verticale																																	
	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="8">LCO2</th> </tr> <tr> <th>Id</th> <th>X</th> <th>Z</th> <th>k_{red}</th> <th>$f_{c,d}$</th> <th>$N_{v,max}$</th> <th>$\sigma_{v,max}$</th> <th>rapporto</th> </tr> <tr> <th>[-]</th> <th>[m]</th> <th>[m]</th> <th>[-]</th> <th>[N/mm²]</th> <th>[kN]</th> <th>[N/mm²]</th> <th>[%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>881</td> <td>0,975</td> <td>2,775</td> <td>0,9</td> <td>14,0</td> <td>-8,49</td> <td>-0,57</td> <td>0%</td> </tr> </tbody> </table>	LCO2								Id	X	Z	k_{red}	$f_{c,d}$	$N_{v,max}$	$\sigma_{v,max}$	rapporto	[-]	[m]	[m]	[-]	[N/mm ²]	[kN]	[N/mm ²]	[%]	881	0,975	2,775	0,9	14,0	-8,49	-0,57	0%
LCO2																																	
Id	X	Z	k_{red}	$f_{c,d}$	$N_{v,max}$	$\sigma_{v,max}$	rapporto																										
[-]	[m]	[m]	[-]	[N/mm ²]	[kN]	[N/mm ²]	[%]																										
881	0,975	2,775	0,9	14,0	-8,49	-0,57	0%																										

Gradi di sfruttamento per l'instabilità																																													
	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="11">LCO2</th> </tr> <tr> <th>Id</th> <th>X</th> <th>Z</th> <th>l_k</th> <th>λ_y</th> <th>β_c</th> <th>$K_{c,y}$</th> <th>$f_{c,d}$</th> <th>$\sigma_{c,d}$</th> <th>$\sigma_{m,y,d}$</th> <th>rapporto</th> </tr> <tr> <th>[-]</th> <th>[m]</th> <th>[m]</th> <th>[m]</th> <th>[-]</th> <th>[-]</th> <th>[-]</th> <th>[N/mm²]</th> <th>[N/mm²]</th> <th>[N/mm²]</th> <th>[%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>881</td> <td>0,975</td> <td>2,775</td> <td>3,35</td> <td>73</td> <td>0,2</td> <td>0,555</td> <td>14,0</td> <td>-</td> <td>0,00</td> <td>7%</td> </tr> </tbody> </table>	LCO2											Id	X	Z	l_k	λ_y	β_c	$K_{c,y}$	$f_{c,d}$	$\sigma_{c,d}$	$\sigma_{m,y,d}$	rapporto	[-]	[m]	[m]	[m]	[-]	[-]	[-]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[%]	881	0,975	2,775	3,35	73	0,2	0,555	14,0	-	0,00	7%
LCO2																																													
Id	X	Z	l_k	λ_y	β_c	$K_{c,y}$	$f_{c,d}$	$\sigma_{c,d}$	$\sigma_{m,y,d}$	rapporto																																			
[-]	[m]	[m]	[m]	[-]	[-]	[-]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[%]																																			
881	0,975	2,775	3,35	73	0,2	0,555	14,0	-	0,00	7%																																			

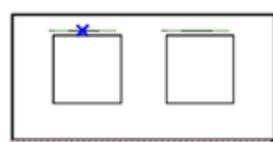
Stati limite di esercizio (SLE) - risultati

deformazione orizzontale



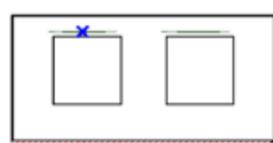
LCO2						
Id	X	Z	w_{lim}	valore limite	$v_{1,max}$	rapporto
[-]	[m]	[m]	[mm]	[mm]	[mm]	[%]
855	5,775	3,35	11,2	$L/300 = 11,2$	0,0657	0,6%

$w_{max} = w[char]$



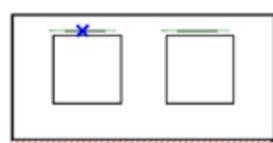
LCO2									
Id	X	Z	K_{def}	L_{ref}	valore limite	w_{lim}	modulo di sezione	rapporto	
[-]	[m]	[m]		[m]	[-]	[mm]	[mm]		[%]
933	1,875	2,925	0,8	1,8	$1/300$	6,0	0,2		3%

$w_{lim} = w[char] + w[q.p.] \cdot k_{def}$



Id	X	Z	K_{def}	L_{ref}	valore limite	w_{lim}	modulo di sezione	rapporto	
[-]	[m]	[m]		[m]	[-]	[mm]	[mm]		[%]
933	1,875	2,925	0,8	1,8	$1/200$	9,0	0,3		3%

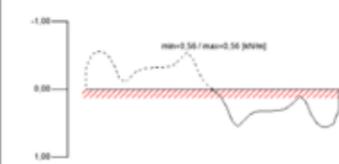
$w_{net,lin} = w[q.p.] + w[q.p.] \cdot k_{def}$



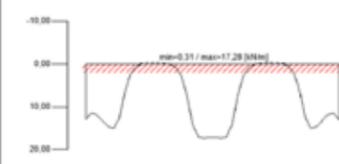
Id	X	Z	K_{def}	L_{ref}	valore limite	w_{lim}	modulo di sezione	rapporto	
[-]	[m]	[m]		[m]	[-]	[m]	[mm]		[%]
933	1,875	2,925	0,8	1,8	$L/250$	7,2	0,2		3%

Reazione all'appoggio

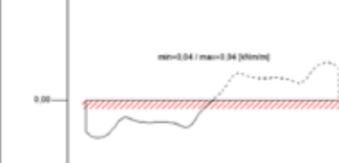
reazione vincolare orizzontale min/max



reazione vincolare verticale min/max



momento all'appoggio min/max



Parete Esterna2

LC2: pesi propri strutturali			
carico trapezoidale			
distanza dal punto iniziale	$q_{k,a}$	valore del carico al punto finale	lunghezza del carico
[m]	[kN/m]		[m]
0,000	2,345	2,35	2,300

LC1: sovraccarico accidentale cat. C: Ambienti suscettibili di affollamento	
carico uniformemente distribuito	
q_k	
[kN/m]	
3	

ULS combinazione	
	regola di combinazione
LCO1	1,30/1,00 * LC2
LCO2	1,30/1,00 * LC2 + 1,50/0,00 * LC1

Stati limite ultimi (SLU) - risultati

Gradi di sfruttamento a taglio nel piano riferito alla sezione netta																																	
	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="8">LCO2</th> </tr> <tr> <th>Id</th> <th>X</th> <th>Z</th> <th>k_{nod}</th> <th>$f_{p,Netto,k}$</th> <th>Q</th> <th>$\tau_{p,Netto,d}$</th> <th>rapporto</th> </tr> <tr> <th>[-]</th> <th>[m]</th> <th>[m]</th> <th>[-]</th> <th>[N/mm²]</th> <th>[kN]</th> <th>[N/mm²]</th> <th>[%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>320</td> <td>0,675</td> <td>3,075</td> <td>0,9</td> <td>3,9</td> <td>1,51</td> <td>0,10</td> <td>4%</td> </tr> </tbody> </table>	LCO2								Id	X	Z	k_{nod}	$f_{p,Netto,k}$	Q	$\tau_{p,Netto,d}$	rapporto	[-]	[m]	[m]	[-]	[N/mm ²]	[kN]	[N/mm ²]	[%]	320	0,675	3,075	0,9	3,9	1,51	0,10	4%
	LCO2																																
Id	X	Z	k_{nod}	$f_{p,Netto,k}$	Q	$\tau_{p,Netto,d}$	rapporto																										
[-]	[m]	[m]	[-]	[N/mm ²]	[kN]	[N/mm ²]	[%]																										
320	0,675	3,075	0,9	3,9	1,51	0,10	4%																										

Gradi di sfruttamento a taglio nel piano riferito alla sezione lorda																																	
	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="8">LCO2</th> </tr> <tr> <th>Id</th> <th>X</th> <th>Z</th> <th>k_{nod}</th> <th>f</th> <th>Q</th> <th>τ</th> <th>rapporto</th> </tr> <tr> <th>[-]</th> <th>[m]</th> <th>[m]</th> <th>[-]</th> <th>[N/mm²]</th> <th>[kN]</th> <th>[N/mm²]</th> <th>[%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>320</td> <td>0,675</td> <td>3,075</td> <td>0,9</td> <td>3,5</td> <td>1,51</td> <td>0,07</td> <td>3%</td> </tr> </tbody> </table>	LCO2								Id	X	Z	k_{nod}	f	Q	τ	rapporto	[-]	[m]	[m]	[-]	[N/mm ²]	[kN]	[N/mm ²]	[%]	320	0,675	3,075	0,9	3,5	1,51	0,07	3%
	LCO2																																
Id	X	Z	k_{nod}	f	Q	τ	rapporto																										
[-]	[m]	[m]	[-]	[N/mm ²]	[kN]	[N/mm ²]	[%]																										
320	0,675	3,075	0,9	3,5	1,51	0,07	3%																										

Gradi di sfruttamento a taglio-torsione sulla superficie di incollaggio fra le tavole																																	
	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="8">LCO2</th> </tr> <tr> <th>Id</th> <th>X</th> <th>Z</th> <th>k_{nod}</th> <th>$f_{c,PT,k}$</th> <th>Q</th> <th>$\tau_{T,Nodo,d}$</th> <th>rapporto</th> </tr> <tr> <th>[-]</th> <th>[m]</th> <th>[m]</th> <th>[-]</th> <th>[N/mm²]</th> <th>[kN]</th> <th>[N/mm²]</th> <th>[%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>320</td> <td>0,675</td> <td>3,075</td> <td>0,9</td> <td>2,5</td> <td>1,51</td> <td>0,08</td> <td>5%</td> </tr> </tbody> </table>	LCO2								Id	X	Z	k_{nod}	$f_{c,PT,k}$	Q	$\tau_{T,Nodo,d}$	rapporto	[-]	[m]	[m]	[-]	[N/mm ²]	[kN]	[N/mm ²]	[%]	320	0,675	3,075	0,9	2,5	1,51	0,08	5%
	LCO2																																
Id	X	Z	k_{nod}	$f_{c,PT,k}$	Q	$\tau_{T,Nodo,d}$	rapporto																										
[-]	[m]	[m]	[-]	[N/mm ²]	[kN]	[N/mm ²]	[%]																										
320	0,675	3,075	0,9	2,5	1,51	0,08	5%																										

grado di sfruttamento per l'azione assiale orizzontale																																	
	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="8">LCO2</th> </tr> <tr> <th>Id</th> <th>X</th> <th>Z</th> <th>k_{nod}</th> <th>$f_{c,d}$</th> <th>$N_{i,max}$</th> <th>$\sigma_{i,max}$</th> <th>rapporto</th> </tr> <tr> <th>[-]</th> <th>[m]</th> <th>[m]</th> <th>[-]</th> <th>[N/mm²]</th> <th>[kN]</th> <th>[N/mm²]</th> <th>[%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>307</td> <td>0,975</td> <td>2,925</td> <td>0,9</td> <td>9,33</td> <td>2,80</td> <td>0,47</td> <td>5%</td> </tr> </tbody> </table>	LCO2								Id	X	Z	k_{nod}	$f_{c,d}$	$N_{i,max}$	$\sigma_{i,max}$	rapporto	[-]	[m]	[m]	[-]	[N/mm ²]	[kN]	[N/mm ²]	[%]	307	0,975	2,925	0,9	9,33	2,80	0,47	5%
	LCO2																																
Id	X	Z	k_{nod}	$f_{c,d}$	$N_{i,max}$	$\sigma_{i,max}$	rapporto																										
[-]	[m]	[m]	[-]	[N/mm ²]	[kN]	[N/mm ²]	[%]																										
307	0,975	2,925	0,9	9,33	2,80	0,47	5%																										

grado di sfruttamento per l'azione assiale verticale																																	
	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="8">LCO2</th> </tr> <tr> <th>Id</th> <th>X</th> <th>Z</th> <th>k_{nod}</th> <th>$f_{c,d}$</th> <th>$N_{i,max}$</th> <th>$\sigma_{i,max}$</th> <th>rapporto</th> </tr> <tr> <th>[-]</th> <th>[m]</th> <th>[m]</th> <th>[-]</th> <th>[N/mm²]</th> <th>[kN]</th> <th>[N/mm²]</th> <th>[%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>289</td> <td>0,525</td> <td>2,775</td> <td>0,9</td> <td>14,0</td> <td>-5,22</td> <td>-0,35</td> <td>0%</td> </tr> </tbody> </table>	LCO2								Id	X	Z	k_{nod}	$f_{c,d}$	$N_{i,max}$	$\sigma_{i,max}$	rapporto	[-]	[m]	[m]	[-]	[N/mm ²]	[kN]	[N/mm ²]	[%]	289	0,525	2,775	0,9	14,0	-5,22	-0,35	0%
	LCO2																																
Id	X	Z	k_{nod}	$f_{c,d}$	$N_{i,max}$	$\sigma_{i,max}$	rapporto																										
[-]	[m]	[m]	[-]	[N/mm ²]	[kN]	[N/mm ²]	[%]																										
289	0,525	2,775	0,9	14,0	-5,22	-0,35	0%																										

Gradi di sfruttamento per l'instabilità																																																	
	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="12">LCO2</th> </tr> <tr> <th>Id</th> <th>X</th> <th>Z</th> <th>l_k</th> <th>λ_y</th> <th>β_c</th> <th>$k_{c,y}$</th> <th>$f_{c,d}$</th> <th>$\sigma_{c,d}$</th> <th>$\sigma_{m,y,d}$</th> <th>rapporto</th> <th></th> </tr> <tr> <th>[-]</th> <th>[m]</th> <th>[m]</th> <th>[m]</th> <th>[-]</th> <th>[-]</th> <th>[-]</th> <th>[N/mm²]</th> <th>[N/mm²]</th> <th>[N/mm²]</th> <th>[%]</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>289</td> <td>0,525</td> <td>2,775</td> <td>3,35</td> <td>73</td> <td>0,2</td> <td>0,555</td> <td>14,0</td> <td>-</td> <td>0,00</td> <td>4%</td> <td>0,35</td> </tr> </tbody> </table>	LCO2												Id	X	Z	l_k	λ_y	β_c	$k_{c,y}$	$f_{c,d}$	$\sigma_{c,d}$	$\sigma_{m,y,d}$	rapporto		[-]	[m]	[m]	[m]	[-]	[-]	[-]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[%]		289	0,525	2,775	3,35	73	0,2	0,555	14,0	-	0,00	4%	0,35
	LCO2																																																
Id	X	Z	l_k	λ_y	β_c	$k_{c,y}$	$f_{c,d}$	$\sigma_{c,d}$	$\sigma_{m,y,d}$	rapporto																																							
[-]	[m]	[m]	[m]	[-]	[-]	[-]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[%]																																							
289	0,525	2,775	3,35	73	0,2	0,555	14,0	-	0,00	4%	0,35																																						



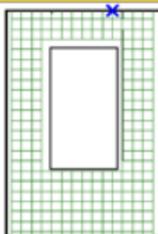
© 2022 - Calculatis by Stora Enso - Version 4.03.0
L'utilizzo dei risultati del software è permesso solamente nel caso in cui la loro correttezza e completezza è stata verificata ed approvata da un ingegnere strutturista/ ingegnere esperto della fisica degli edifici. Per maggiori informazioni vedere le Condizioni d'uso.



© 2022 - Calculatis by Stora Enso - Version 4.03.0
L'utilizzo dei risultati del software è permesso solamente nel caso in cui la loro correttezza e completezza è stata verificata ed approvata da un ingegnere strutturista/ ingegnere esperto della fisica degli edifici. Per maggiori informazioni vedere le Condizioni d'uso.

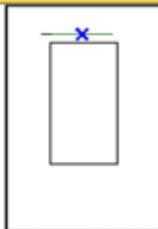
Stati limite di esercizio (SLE) - risultati

deformazione orizzontale



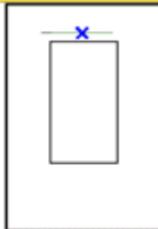
LCO2						
Id	X	Z	w_{lim}	valore limite	$v_{h,max}$	rapporto
[-]	[m]	[m]	[mm]	[mm]	[mm]	[%]
287	1,575	3,35	11,2	$L/300 = 11,2$	0,0249	0,2%

$w_{lim} = w[char]$



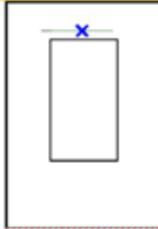
LCO2								
Id	X	Z	K_{def}	L_{ref}	valore limite	w_{lim}	modulo di sezione	rapporto
[-]	[m]	[m]		[m]	[-]	[mm]	[mm]	
308	1,125	2,925	0,8	1,0	1/300	3,3	0,0	1%

$w_{lim} = w[char] + w[q.p.] \cdot k_{def}$



Id	X	Z	K_{def}	L_{ref}	valore limite	w_{lim}	modulo di sezione	rapporto
[-]	[m]	[m]		[m]	[-]	[mm]	[mm]	
308	1,125	2,925	0,8	1,0	1/200	5,0	0,1	1%

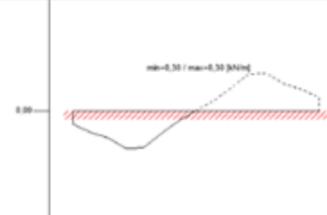
$w_{lim,fin} = w[q.p.] + w[q.p.] \cdot k_{def}$



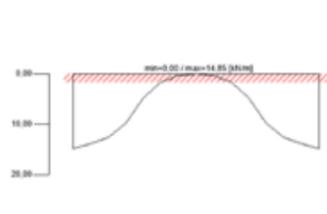
Id	X	Z	K_{def}	L_{ref}	valore limite	w_{lim}	modulo di sezione	rapporto
[-]	[m]	[m]		[m]	[-]	[m]	[mm]	
308	1,125	2,925	0,8	1,0	L/250	4,0	0,1	1%

Reazione all'appoggio

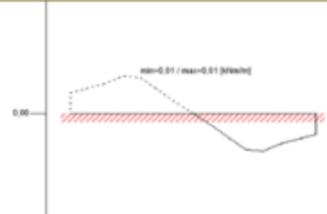
reazione vincolare orizzontale min/max



reazione vincolare verticale min/max

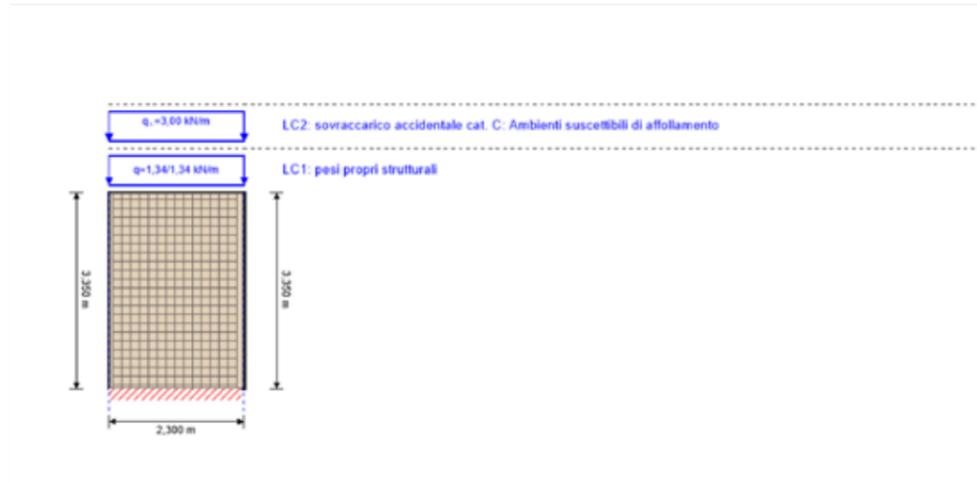


momento all'appoggio min/max



Parete Interna

progetto



grado di sfruttamento totale			
ULS	4 %	ULS fuoco	0 %

sezione: CLT 80 C3s				
strato	spessore	orientazione	materiale	
1	20,0 mm	90°	Abete C24 ETA (2019)	
2	40,0 mm	0°	Abete C24 ETA (2019)	
3	20,0 mm	90°	Abete C24 ETA (2019)	
t _{CLT}	80,0 mm			

parametri del materiale										
materiale	f _{m,k}	f _{t,0,k}	f _{t,90,k}	f _{c,0,k}	f _{c,90,k}	f _{r,k}	f _{r,k min}	E _{0,mean}	G _{mean}	G _{r,mean}
Abete C24 ETA (2019)	24,00	14,00	0,12	21,00	2,50	4,00	1,25	12.000,00	690,00	50,00

carico

tipologie di carico										
	categoria di carico	tipo	durata	K _{mod}	γ _{ref}	γ _{sup}	ψ ₀	ψ ₁	ψ ₂	
LC1	pesi propri strutturali	G	permanente	0,6	1	1,3	1	1	1	1
LC2	sovraccarico accidentale cat. C: Ambienti suscettibili di affollamento	Q	breve durata	0,9	0	1,5	0,7	0,7	0,6	

LC1: pesi propri strutturali

carico trapezoidale			
distanza dal punto iniziale	q _{k,s}	valore del carico al punto finale	lunghezza del carico
[m]	[kN/m]		[m]
0,000	1,34	1,34	2,300

© 2022 - Calculatis by Stora Enso - Version 4.03.0
L'utilizzo dei risultati del software è permesso solamente nel caso in cui la loro correttezza e completezza è stata verificata ed approvata da un ingegnere strutturista/ ingegnere esperto della fisica degli edifici. Per maggiori informazioni vedere le Condizioni d'uso.

LC2: sovraccarico accidentale cat. C: Ambienti suscettibili di affollamento

carico uniformemente distribuito	
q _k	[kN/m]
	3

ULS combinazione

regola di combinazione	
LCO1	1,30/1,00 * LC1
LCO2	1,30/1,00 * LC1 + 1,50/0,00 * LC2

Stati limite ultimi (SLU) - risultati

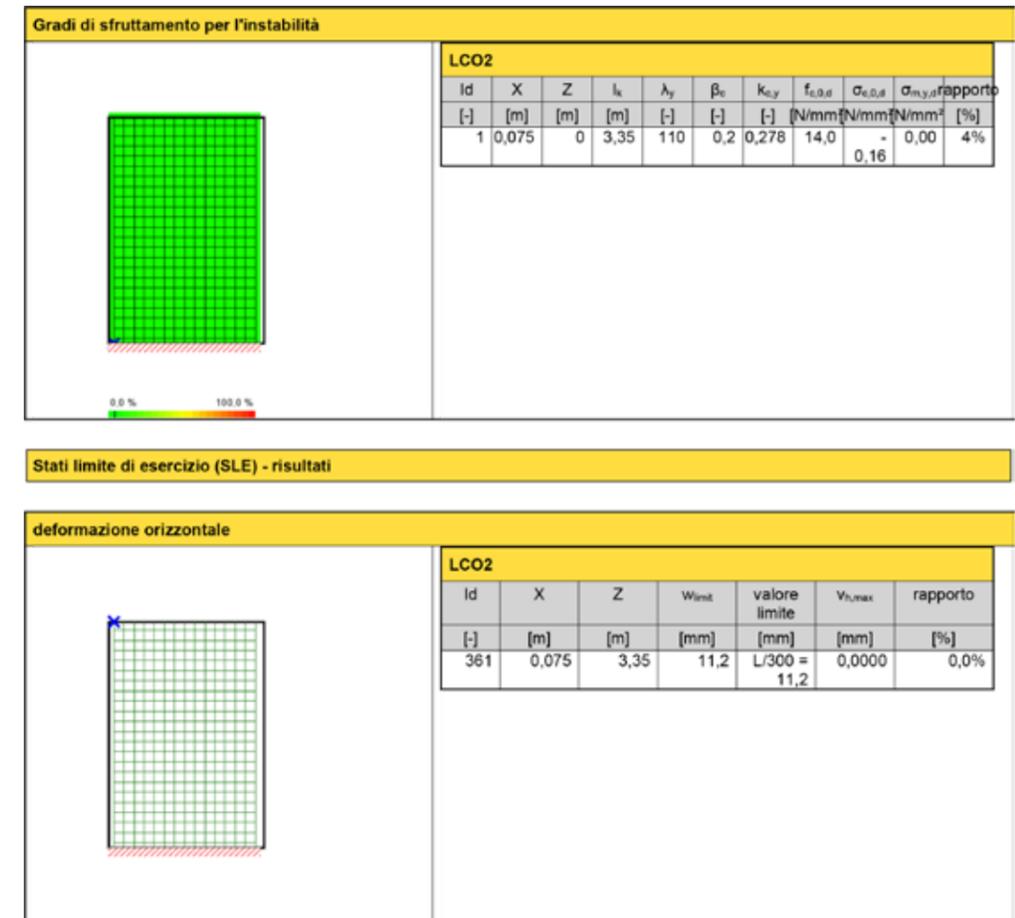
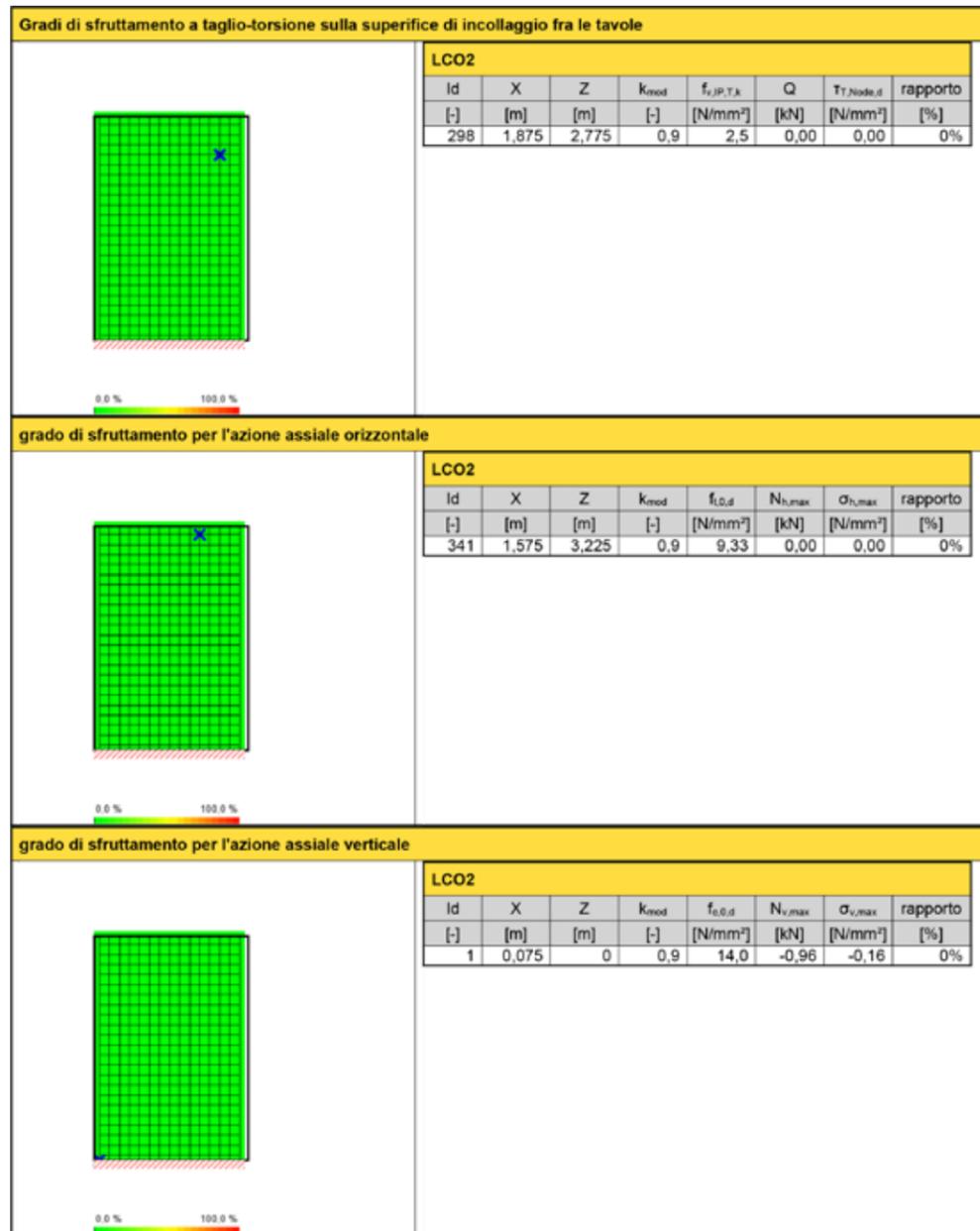
Gradi di sfruttamento a taglio nel piano riferito alla sezione netta

LCO2							
Id	X	Z	k _{mod}	f _{v,IP,Netto,k}	Q	τ _{IP,Netto,d}	rapporto
[-]	[m]	[m]	[-]	[N/mm ²]	[kN]	[N/mm ²]	[%]
298	1,875	2,775	0,9	3,9	0,00	0,00	0%

Gradi di sfruttamento a taglio nel piano riferito alla sezione lorda

LCO2							
Id	X	Z	k _{mod}	f _{v,IP,Grosso,k}	Q	τ _{IP,Grosso,d}	rapporto
[-]	[m]	[m]	[-]	[N/mm ²]	[kN]	[N/mm ²]	[%]
298	1,875	2,775	0,9	3,5	0,00	0,00	0%

© 2022 - Calculatis by Stora Enso - Version 4.03.0
L'utilizzo dei risultati del software è permesso solamente nel caso in cui la loro correttezza e completezza è stata verificata ed approvata da un ingegnere strutturista/ ingegnere esperto della fisica degli edifici. Per maggiori informazioni vedere le Condizioni d'uso.

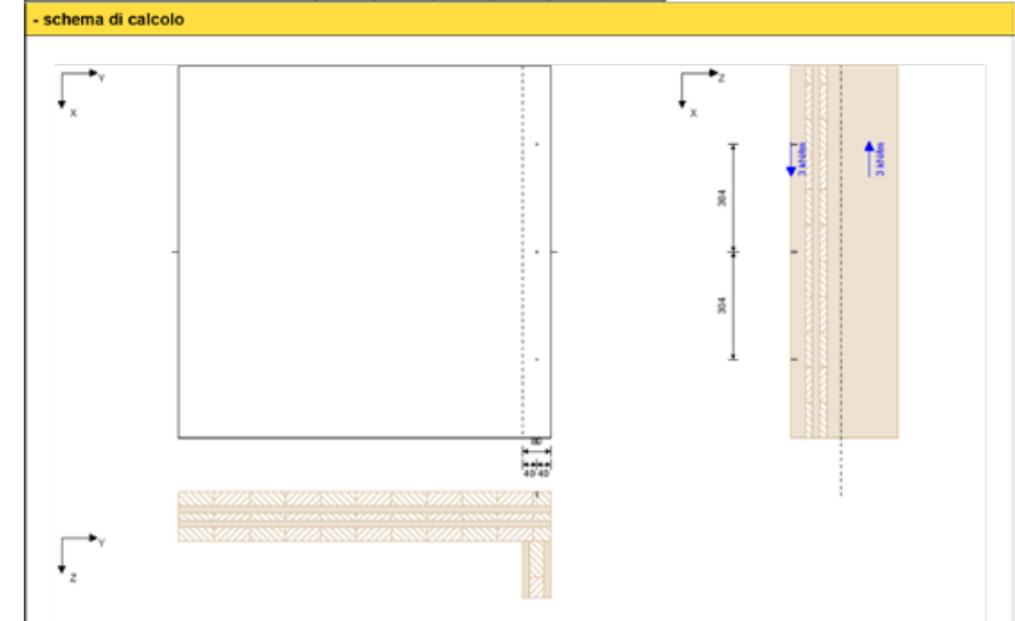


Reazione all'appoggio	
<p>reazione vincolare orizzontale min/max</p> 	
<p>reazione vincolare verticale min/max</p> 	
<p>momento all'appoggio min/max</p> 	

connessione	
F_x	3 kN/m
F_y	0 kN/m
K_{mod}	1
materiale 1	Abete C24 ETA (2019)
ρ_k	3,5 kN/m ³
pannello 1	CLT 140 C5s
Orientamento dello strato esterno	direzione X
materiale 2	Abete C24 ETA (2019)
ρ_k	3,5 kN/m ³
pannello 2	CLT 80 L3s
Orientamento dello strato esterno	x
Tipologia connettore	Rothblaas HBS
connettori	3/16
Impostazione	Verticale
diametro	3 mm
diametro testa	6 mm
lunghezza	16 mm
lunghezza parte flettata	10 mm
posizioni del connettore	x
preforo	x

analisi				
prova	esistente	limite	unità	sfruttamento
larghezza 1	80	27	mm	34%
larghezza 2	80	27	mm	34%
spessore 1	16	19	mm	118%
spessore 2	0	19	mm	+infinito
F_v	911,443	911,443	N	100%
contare	3,291	33,333	contare / lm	10%

spaziatura minima						
nome	$a_{1,min}$	$a_{2,min}$	$a_{3,min}$	$a_{3',min}$	$a_{4,min}$	$a_{4',min}$
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
CLT sopra	12	8	18	18	8	18
CLT sotto	30	12	21	36	9	18



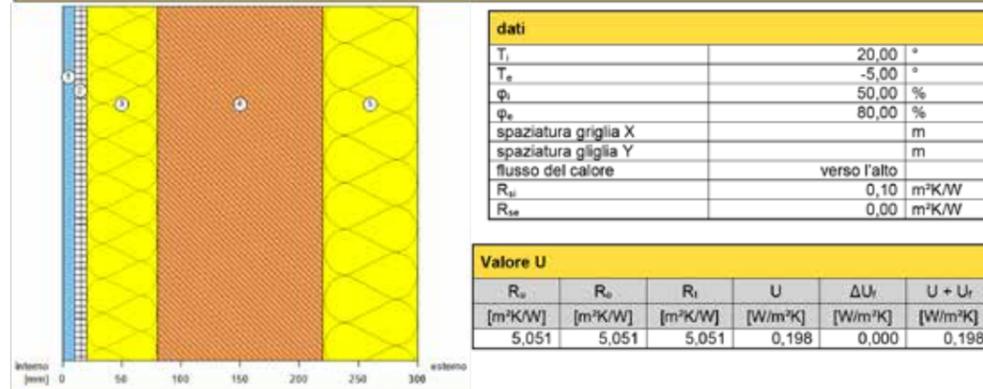
© 2022 - Calculatis by Stora Enso - Version 4.03.0
L'utilizzo dei risultati del software è permesso solamente nel caso in cui la loro correttezza e completezza è stata verificata ed approvata da un ingegnere strutturista/ ingegnere esperto della fisica degli edifici. Per maggiori informazioni vedere le Condizioni d'uso.



© 2022 - Calculatis by Stora Enso - Version 4.03.0
L'utilizzo dei risultati del software è permesso solamente nel caso in cui la loro correttezza e completezza è stata verificata ed approvata da un ingegnere strutturista/ ingegnere esperto della fisica degli edifici. Per maggiori informazioni vedere le Condizioni d'uso.

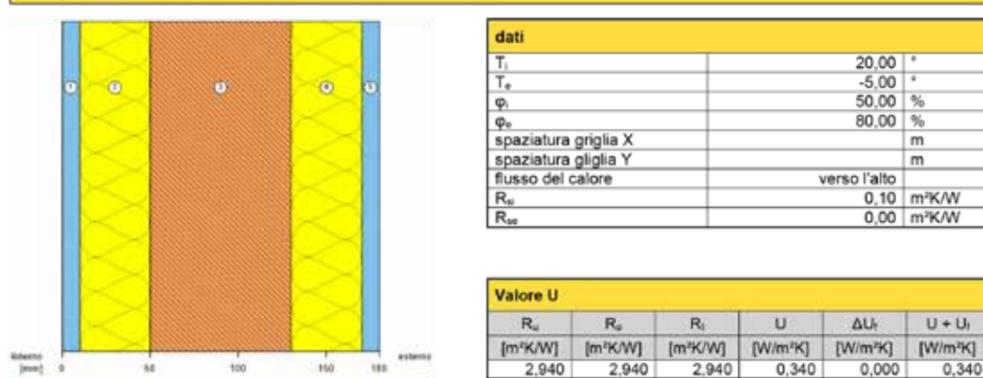
Calcolo Trasmissione

Progetto parete esterna



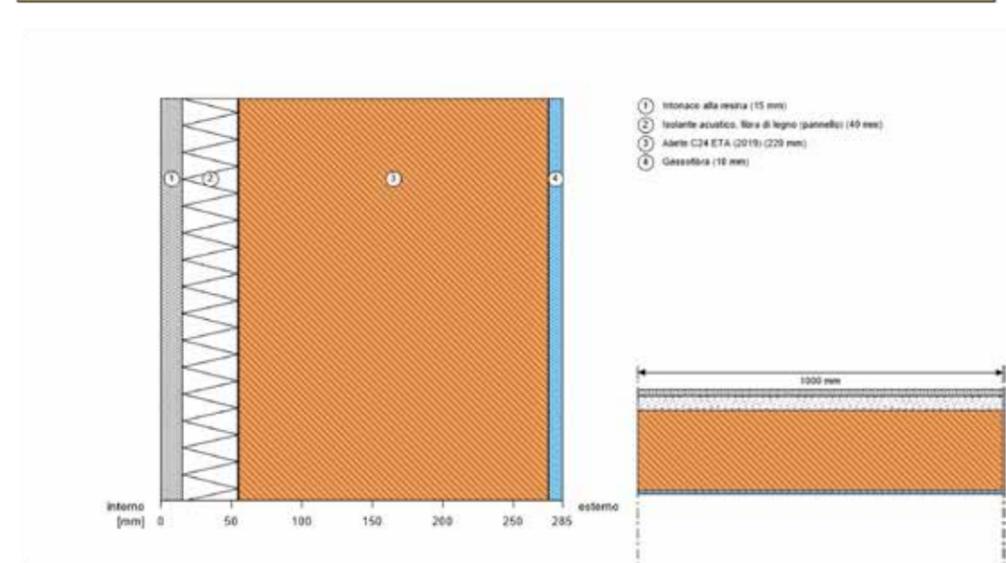
strati												
n.	nome	spessore [mm]	larghezza [mm]	densità [kg/m ³]	λ [W/mK]	R_i [m ² K/W]	μ [W/mK]	A_v [mm ²]	A_r [mm ²]	lunghezza [mm]	λ [W/mK]	numero al m ² [-]
1	Gesso fibra	10		447	0,32		13					
2	Barriera al vapore	10		30	0,17		-1					
3	Lana minerale (pannello)	60		30	0,037		1					
4	Abete C24 ETA (2019)	140		1150	0,13		50					
5	Lana minerale (pannello)	80		0	0,037		1					

Progetto parete interna



strati												
n.	nome	spessore [mm]	larghezza [mm]	densità [kg/m ³]	λ [W/mK]	R_i [m ² K/W]	μ [W/mK]	A_v [mm ²]	A_r [mm ²]	lunghezza [mm]	λ [W/mK]	numero al m ² [-]
1	Gesso fibra	10		447	0,32		13					
2	Lana minerale (pannello)	40		30	0,037		1					
3	Abete C24 ETA (2019)	80		30	0,13		50					
4	Lana minerale (pannello)	40		1150	0,037		1					
5	Gesso fibra	10		1150	0,32		13					

progetto



dati	
T_i	20,00 °
T_e	-5,00 °
ϕ	50,00 %
ϕ_e	80,00 %
spaziatura griglia X	m
spaziatura griglia Y	m
flusso del calore	verso l'alto
R_{si}	0,10 m ² K/W
R_{se}	0,04 m ² K/W

strati												
n.	nome	spessore [mm]	larghezza [mm]	densità [kg/m ³]	λ [W/mK]	R_i [m ² K/W]	μ [W/mK]	A_v [mm ²]	A_r [mm ²]	lunghezza [mm]	λ [W/mK]	numero al m ² [-]
1	Intonaco alla resina	15		447	0,83		200					
2	Isolante acustico, fibra di legno (pannello)	40		135	0,038		5					
3	Abete C24 ETA (2019)	220		1100	0,13		50					
4	Gessofibra	10		1150	0,32		13					

Valore U						
R_{si}	R_o	R_i	U	ΔU_i	U + U_i	
[m ² K/W]	[m ² K/W]	[m ² K/W]	[W/m ² K]	[W/m ² K]	[W/m ² K]	
2,934	2,934	2,934	0,341	0,000	0,341	



© 2022 - Calculatis by Stora Enso - Version 4.03.0
L'utilizzo dei risultati del software è permesso solamente nel caso in cui la loro correttezza e completezza è stata verificata ed approvata da un ingegnere strutturista/ ingegnere esperto della fisica degli edifici. Per maggiori informazioni vedere le Condizioni d'uso.



© 2022 - Calculatis by Stora Enso - Version 4.03.0
L'utilizzo dei risultati del software è permesso solamente nel caso in cui la loro correttezza e completezza è stata verificata ed approvata da un ingegnere strutturista/ ingegnere esperto della fisica degli edifici. Per maggiori informazioni vedere le Condizioni d'uso.

ModuloBagno

Per la realizzazione dell'ampliamento si vuole cercare di utilizzare il minor numero di tipologie di modulo possibile per risparmi a livello economico e di tempistiche. Assieme alle aule scolastiche è possibile progettare un ampliamento solo con la presenza di servizi igienici, come definito da normativa¹⁷. Essa prevede che sia presente 1 vaso per classe, di cui uno predisposto per disabili. Pensando a un ampliamento scolastico minimo, costituito quindi da 1/2 aule devono essere presenti due servizi igienici.

Il mercato della prefabbricazione offre svariate tipologie di cellule bagno totalmente pre-assemblate in stabilimento. L'utilizzo di questi moduli prefabbricati offre diversi vantaggi, tra cui la riduzione dei costi e una posa e installazione facile. Le cellule bagno vengono trasportate in cantiere finite, una volta giunte a destinazione bisogna solamente posizionarle, connettere gli scarichi, l'impianto idraulico ed elettrico. Eliminano problemi come organizzare tutte le attività (lavoro di piastrellisti, posatori di pavimenti, decoratori, ecc..) necessarie per realizzare l'interno bagno. Inoltre, consentono una riduzione dei rifiuti da cantiere. Per queste ragioni si è scelto di utilizzare i materiali e i pacchetti proposti dal mercato, che offre molteplici scelte in base alle esigenze del cliente, dalle dimensioni alle tipologie costruttive.



Cellula in CLS alleggerito di Bathsystem



Cellula in acciaio di Bathsystem



Modello 3D di cellula bagno per un ospedale, di Sync



Cellula bagno completa senza isolamento esterno, di Sync

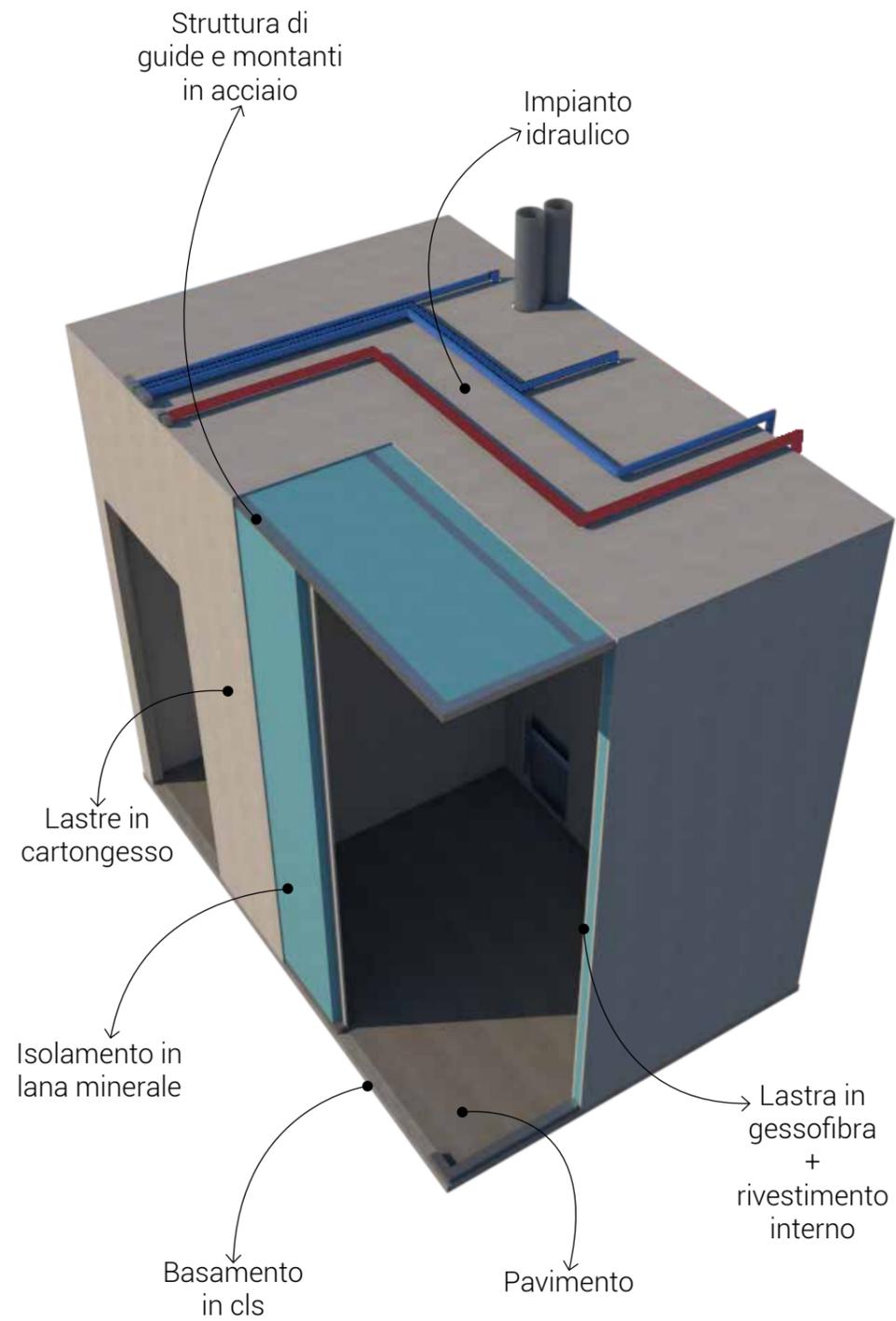


Posa della cellula bagno in cantiere, di Modular Building Institute

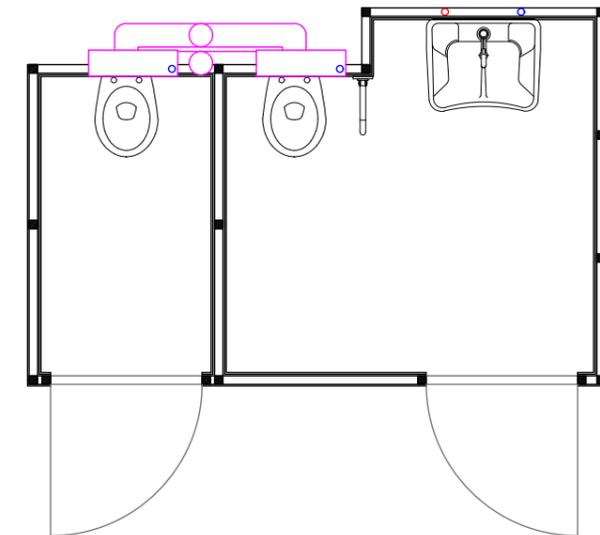
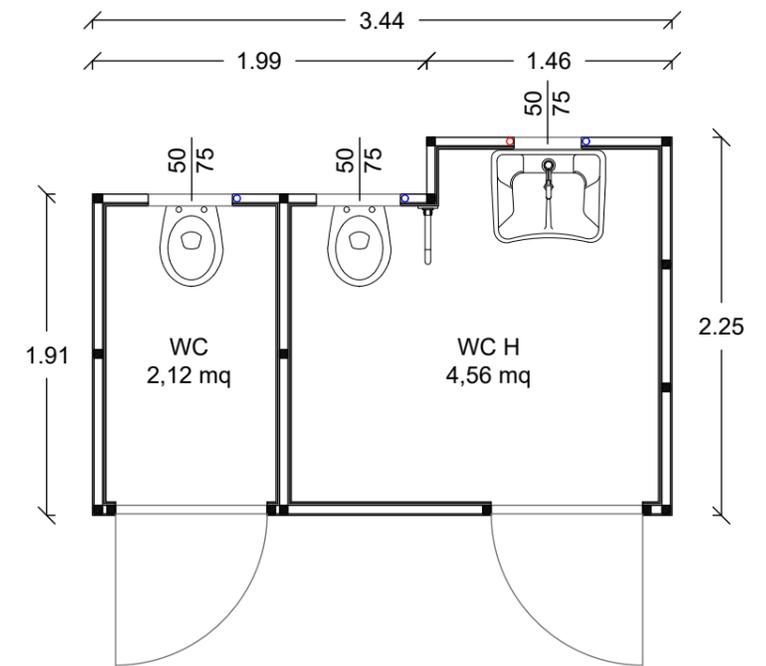


Moduli bagno prefabbricati in stabilimento, di Modular Building Institute

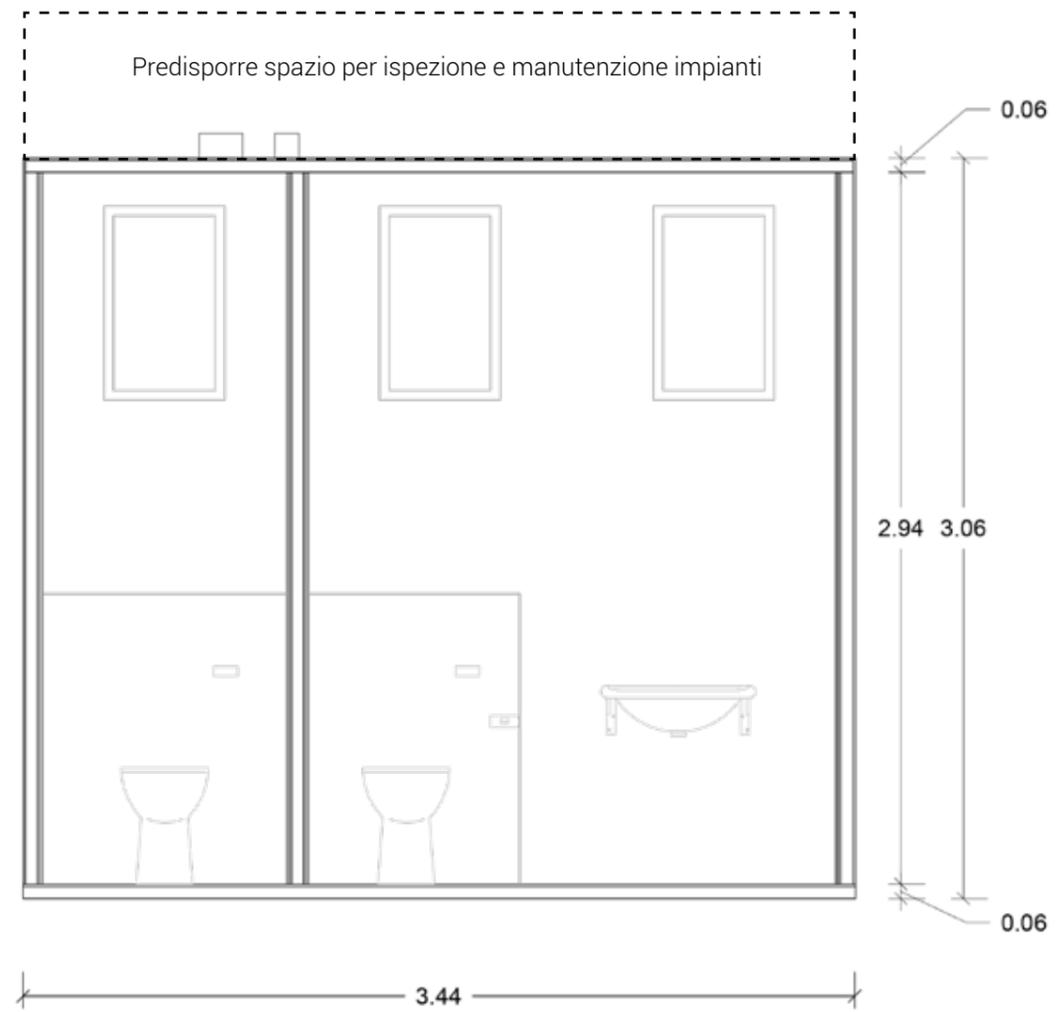
¹⁷ Decreto Ministeriale 18 dicembre 1975, paragrafo 3.9 "Caratteristiche degli spazi per i servizi igienico-sanitari e per gli spogliatoi"



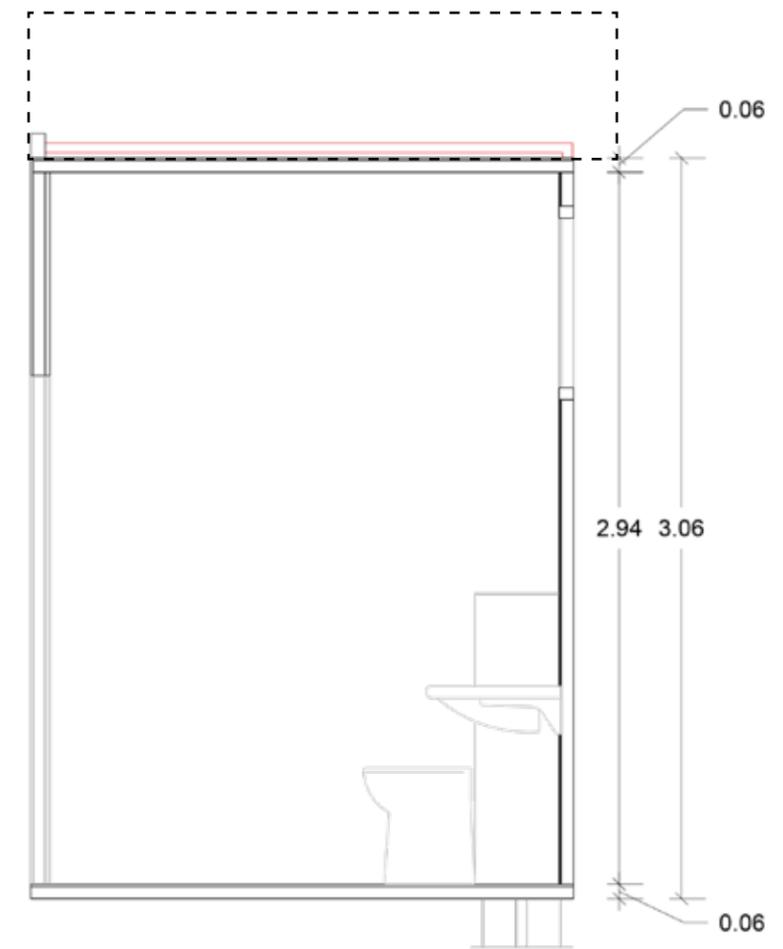
Schema componenti modulo bagno prefabbricato



Piante modulo bagno



Sezione modulo bagno



Sezione modulo bagno

Sostenibilità **Analisi LCA**

La prefabbricazione è meno dispendiosa rispetto alle tradizionali forme di costruzione e quindi più sostenibile. I materiali di scarto prodotti in fabbrica sono generalmente inferiori rispetto ai rifiuti di un cantiere tradizionale, inoltre il riciclaggio e lo smaltimento dei rifiuti viene controllato in modo più affidabile in un ambiente come la fabbrica piuttosto che in loco.

STORA ENSO è un'azienda che ha come obiettivo la sostituzione dei materiali non rinnovabili attraverso lo sviluppo di prodotti e servizi basati sul legno e altri materiali rinnovabili. La sezione Wood Products dell'azienda propone prodotti innovativi a base di legno per l'edilizia e gli usi interni, come legno massiccio, componenti in legno, prodotti in legno ingegnerizzato, pellet, ecc... Il CLT è un prodotto in legno massello da costruzione proveniente dalle foreste di Austria e Svezia composto da più (3, 5, 7, o 8) pannelli monostrato incollati e disposti a angoli retti tra loro. Gli strati sono incollati con adesivi accuratamente selezionati in base allo scopo specifico. I prodotti CLT sono durevoli e sicuri da usare e riciclabili. Sono continuamente testati per assicurarsi che soddisfino i più severi requisiti in termini di sostenibilità ambientale.

Informazioni tecniche¹⁸

Proprietà	Definizione
Usi	Applicazioni strutturali, pannelli per pareti, solai e tetti
Larghezza massima	3,50 m (su richiesta misure maggiori a 4,00 m)
Spessore massimo	350 mm
Lunghezza massima	16,00 m
Specie di alberi	Abete e Pino
Colle adesive	Polyurethane adhesive (PUR), emulsion-polymer-isocyanate adhesive (EPI)
Umidità contenuta	12 %
Densità	470 kg/m ³
Conduttività termica	$\lambda = 0,12 \text{ W/(mK)}$
Calore specifico	$c = 1600 \text{ J/(kg-K)}$

¹⁶ Environmental Product Declaration (EPD) prodotto CLT dell'azienda STORA ENSO

Nell'EPD (Environmental Product Declaration) del CLT fornito dall'azienda STORA ENSO¹⁹ si può analizzare l'**analisi LCA** svolta con sistema culla-cancello. Il sistema prevede le fasi:

- **Produzione**
 - **A1** = Materie prime
 - **A2** = Trasporto delle materie prime
 - **A3** = Produzione in fabbrica
- **Proceso di costruzione**
 - **A4** = Trasporto
 - **A5** = Costruzione
- **Utilizzo**
 - **B1** = Utilizzo
 - **B2** = Manutenzione
 - **B3** = Conservazione
 - **B4** = Sostituzione
 - **B5** = Ristrutturazione
 - **B6** = Utilizzo di energia
 - **B7** = Utilizzo di acqua
- **Fine Vita**
 - **C1** = Decostruzione
 - **C2** = Trasporto
 - **C3** = Trattamento dei rifiuti
 - **C4** = Smaltimento
- **D = Riuso, Recupero, Riciclo**

¹⁷ <https://www.storaenso.com/en/search?page=1&phrase=epd>

FasediProduzione

La **fase A1** copre l'estrazione e la lavorazione delle materie prime, come le operazioni forestali e la produzione di colla. Tutta la materia prima di legno di STORA ENSO proviene da enti terzi certificati con sistemi di tracciabilità del prodotto.

Composizione del prodotto

Materiale / Sostanza chimica	kg	%	Note
Legno (Abete o Pino)	465,2	99	Contenuto d'acqua pari al 10,7 %
Polyurethane resin (PUR)	4,2	0,9	Colla per superfici e copri-giunti
Emulsion polymer isocyanate resin (EPI)	0,5	0,1	Colla per lati corti dei pannelli
Indurente	0,1	< 0,1	Colla per lati corti dei pannelli
TOTALE	470	100%	

La **fase A2** copre il trasporto delle materie prime e dei combustibili necessari per il trasporto. I tronchi, di Abete e Pino, vengono trasportati con camion e treni.

La **fase A3** riguarda la produzione di CLT e dei suoi sottoprodotti realizzati con gli scarti (minimizzare i rifiuti). Qui vengono contate anche le risorse energetiche primarie utilizzate per la produzione, i materiali di imballaggio e i rifiuti prodotti. Questa fase comprende:

- Essiccazione del legno in forni
- Verifiche di resistenza
- Taglio degli elementi
- Giunti
- Piallatura
- Incollaggio dei bordi e delle superfici
- Posa
- Pressatura
- Rifiniture
- Trattamenti per le superfici

FasediCostruzione

La **fase A4** comprende tutti i dati relativi al trasporto del CLT al sito di costruzione.

La **fase A5** copre la costruzione in sito ed include i rifiuti prodotti dagli imballaggi e tutte le lavorazioni edili necessarie per la posa in opera.

FasediUtilizzo

Le **fasi B1 - B7** non prevedono impatti ambientali, in quanto comprendono l'utilizzo, come non comprendono sostanze dannose rilasciate in acqua, aria e sottosuolo

Scenari di Fine Vita

Sono stati sviluppati quattro possibili scenari per quanto riguarda il fine vita degli elementi CLT: riuso, riciclo, incenerimento e smaltimento in discarica. Queste opzioni sono definite da quattro fasi, di cui alcune differiscono in base all'alternativa.

La **fase C1** consiste nella demolizione dell'edificio ed è la medesima per ognuno degli scenari.

La **fase C2** prevede il trasporto del materiale al centro di smistamento ove prenderà percorsi diversi a seconda dello scenario.

La **fase C3** si differenzia per le quattro alternative e prevede la preparazione del rifiuto a seconda che esso debba essere ri-utilizzato, riciclato, incenerito o smaltito in discarica.

La **fase C4** consiste nel trattamento del rifiuto. Se deve essere riutilizzato non necessita di ulteriori lavorazioni, nel momento in cui deve essere riciclato in questa fase il rifiuto viene sminuzzato in piccole parti per poter poi essere lavorato. Per quanto riguarda l'opzione dell'incenerimento, qui viene sminuzzato in particelle per poter essere inserito nelle apposite macchine. Lo scenario di smaltimento prevede invece la sistemazione del rifiuto in discarica.

L'ultima **fase D** consiste nel riutilizzo del materiale, nel recupero dei trucioli di legno per il riciclo, nell'ottenimento di energia dalla fase di incenerimento e del metano prodotto dal materiale smaltito in discarica.

Sequestro e Stoccaggio di Carbonio

Durante la crescita gli alberi assorbono anidride carbonica e rimuovono il carbonio dall'atmosfera. Questa azione è definita sequestro di anidride carbonica ed è unica per i materiali rinnovabili. Il contenuto di carbonio immagazzinato è il risultato della fotosintesi di alberi e piante, con la quale viene effettivamente rimossa anidride carbonica dall'atmosfera e trasformata in zuccheri, ovvero carbonio, e ossigeno. Questo meccanismo aiuta a invertire l'effetto serra. Più a lungo l'anidride carbonica rimane immagazzinata in un materiale, maggiore è il beneficio ambientale. Lo stoccaggio totale del carbonio viene aumentato dal riutilizzo e dal riciclaggio dei prodotti.

Il carbonio biogeno del legno è calcolato secondo le norme EN 16485 e 16449, da cui ogni kg di carbonio biogenico immagazzinato equivale a circa 3,67 kg di CO₂ che viene effettivamente rimossa dall'atmosfera. Nel caso del CLT il contenuto di carbonio biogenico è -762 kg CO₂ eq./m³²⁰. I Kg di CO₂ equivalente rappresentano la sostanza di riferimento per il calcolo dell'impatto ambientale surriscaldamento globale (Global Warming Potential). Si calcola il potenziale di riscaldamento globale (GWP) valutato nell'arco di 100 anni, esso rappresenta il contributo potenziale di un gas al cambiamento climatico riferito al contributo potenziale di CO₂. Il valore ottenuto rappresenta l'impronta di carbonio o CO₂ incorporata. Il calcolo degli impatti ambientali riferiti al surriscaldamento globale sono calcolati per il CLT nelle fasi di estrazione delle materie prime, nella fase di realizzazione, di uso e nei vari scenari di fine vita. Non vengono rappresentati i valori riferiti alle fasi di uso, in quanto esse non producono impronta di carbonio.

²⁰ Calcolo impatto ambientale surriscaldamento globale GWP (Global Warming Potential)

Impatto AMBIENTALE

Potenziale di impatto ambientale per 1 m³ di CLT²¹

Fase di produzione e di costruzione

PARAMETRI		UNITÀ	A1	A2	A3	A1 - A3	A4	A5
Global Warming Potential (GWP)	fossile	kg CO ₂ eq.	3,19E+01	1,42E+01	7,61E+00	5,38E+01	3,84E+01	1,47E+01
	biogenico	kg CO ₂ eq.	-7,62E+02	1,58E-02	3,34E-01	-7,62E+02	1,34E-02	1,00E-01
	uso del suolo	kg CO ₂ eq.	6,82E-01	5,58E-03	1,61E-01	8,48E-01	1,01E-02	1,90E-03
	totale	kg CO₂ eq.	-7,29E+02	1,42E+01		-7,07E+02	3,84E+01	1,48E+01

Scenario di riutilizzo

PARAMETRI		UNITÀ	C1	C2	C3	C4	D
Global Warming Potential (GWP)	fossile	kg CO ₂ eq.	5,42E-01	2,04E+00	0,00E+00	0,00E+00	-5,12E+01
	biogenico	kg CO ₂ eq.	1,15E-04	7,10E-04	7,62E+02	0,00E+00	-7,62E+02
	uso del suolo	kg CO ₂ eq.	5,99E-05	5,35E-04	0,00E+00	0,00E+00	-8,48E-01
	totale	kg CO₂ eq.	5,42E-01	2,04E+00		0,00E+00	-8,14E+02

Scenario di riciclo

PARAMETRI		UNITÀ	C1	C2	C3	C4	D
Global Warming Potential (GWP)	fossile	kg CO ₂ eq.	5,42E-01	2,04E+00	5,65E+00	0,00E+00	-5,28E+01
	biogenico	kg CO ₂ eq.	1,15E-04	7,10E-04	7,62E+02	0,00E+00	-7,63E+02
	uso del suolo	kg CO ₂ eq.	5,99E-05	5,35E-04	4,80E+04	0,00E+00	-3,28E-01
	totale	kg CO₂ eq.	5,42E-01	2,04E+00		0,00E+00	-8,21E+02

²¹ Environmental performance - product / construction stage, EPD CLT, STORA ENSO

Scenario di incenerimento

PARAMETRI		UNITÀ	C1	C2	C3	C4	D
Global Warming Potential (GWP)	fossile	kg CO ₂ eq.	5,42E-01	2,04E+00	3,30E+01	0,00E+00	-3,65E+02
	biogenico	kg CO ₂ eq.	1,15E-04	7,10E-04	7,62E+02	0,00E+00	-2,73E-02
	uso del suolo	kg CO ₂ eq.	5,99E-05	5,35E-04	1,43E+02	0,00E+00	3,44E-04
	totale	kg CO ₂ eq.	5,42E-01	2,04E+00		0,00E+00	-3,65E+02

Scenario di smaltimento in discarica

PARAMETRI		UNITÀ	C1	C2	C3	C4	D
Global Warming Potential (GWP)	fossile	kg CO ₂ eq.	5,42E-01	2,04E+00	0,00E+00	1,00E+01	-3,92E+00
	biogenico	kg CO ₂ eq.	1,15E-04	7,10E-04	0,00E+00	1,04E+03	-6,07E-04
	uso del suolo	kg CO ₂ eq.	5,99E-05	5,35E-04	0,00E+00	1,18E-03	-1,43E-04
	totale	kg CO ₂ eq.		2,04E+00	0,00E+00	1,05E+03	-3,93E+00

In arancione sono evidenziate le fasi più impattanti. Si rileva che per quanto riguarda le fasi di estrazione, produzione e costruzione la fase più impattante è quella riferita alla realizzazione dell'elemento in CLT, in quanto la produzione in fabbrica produce maggiori quantità di CO₂ rispetto alle altre fasi.

La fase di uso, come già detto, non produce CO₂, mentre per quanto riguarda gli scenari di fine vita si rileva che i maggiori impatti derivano dalle fasi di ri-elaborazione della materia per poter essere riutilizzata, riciclata o incenerita; e nella demolizione della struttura per lo smaltimento in discarica.

capitolo3

2 PROGETTI DI AMPLIAMENTI SCOLASTICI

3.1

SCUOLA MEDIA ANNA FRANK
Castelvetro di Modena (MO)

Castelvetro di Modena è un piccolo comune situato tra le province di Modena e Bologna. In particolare si trova a 17 chilometri dal centro di Modena e a 35 chilometri da quello di Bologna. Il comune di Castelvetro di Modena si colloca in un territorio prevalentemente collinare, ha un'estensione di circa 50 chilometri ed è attraversato da nord a sud-est dal Torrente Guero. Oltre al capoluogo, Castelvetro, l'area è composta da diverse frazioni quali: Levizzano, Solignano, Cà di Sola, San Eusebio, Settecani, Madonna di Puianello e Cà Montanari.

Attualmente il Comune conta 11.272 abitanti ed è soggetta a un progressivo incremento per il trasferimento di numerosi nuclei familiari provenienti dalla città e da aree limitrofe extra-regionali per le opportunità lavorative offerte dal territorio.

Castelvetro fa parte dell'Unione Terre di Castelli, un ente sovracomunale costituito nel 2001 che aggrega otto comuni: Castelnuovo Rangone, Guglia, Marano sul Panaro, Savignano sul Panaro, Spilamberto, Vignola, Zocca e il Comune in questione. L'utilità dell'Unione è quella di poter rappresentare un'istituzione per realizzare obiettivi di miglioramento e ampliamento della produzione e dell'erogazione dei servizi. L'Unione Terre di Castelli consente la gestione di diversi servizi, tra cui quello scolastico.

Il sistema scolastico rappresenta un punto di riferimento importante per la popolazione, date le diverse esigenze lavorative delle famiglie e l'attenzione sempre maggiore nei confronti della qualità dell'istruzione e le diverse necessità collegate ai processi di integrazione sociale.

A fianco: vista aerea Comune di Castelvetro, Google Maps



Inquadramento **Territoriale**

Nel centro storico di Castelvetro sono presenti monumenti e luoghi di interesse.

Torrione del Palazzo Comunale

Palazzo della nobile famiglia Rangone, nell'800 venne destinato a residenza del Convitto dei Padri Gesuiti e nel 1875 venne acquistato dal comune che in seguito vi collocò i propri uffici.

Torre degli Arcieri e Antiche Mura

A sud est del centro storico, la Torre fa parte di una villa privata. Delle antiche mura di cinta si sono conservate, oltre a queste, altri tratti sul lato nord del borgo.

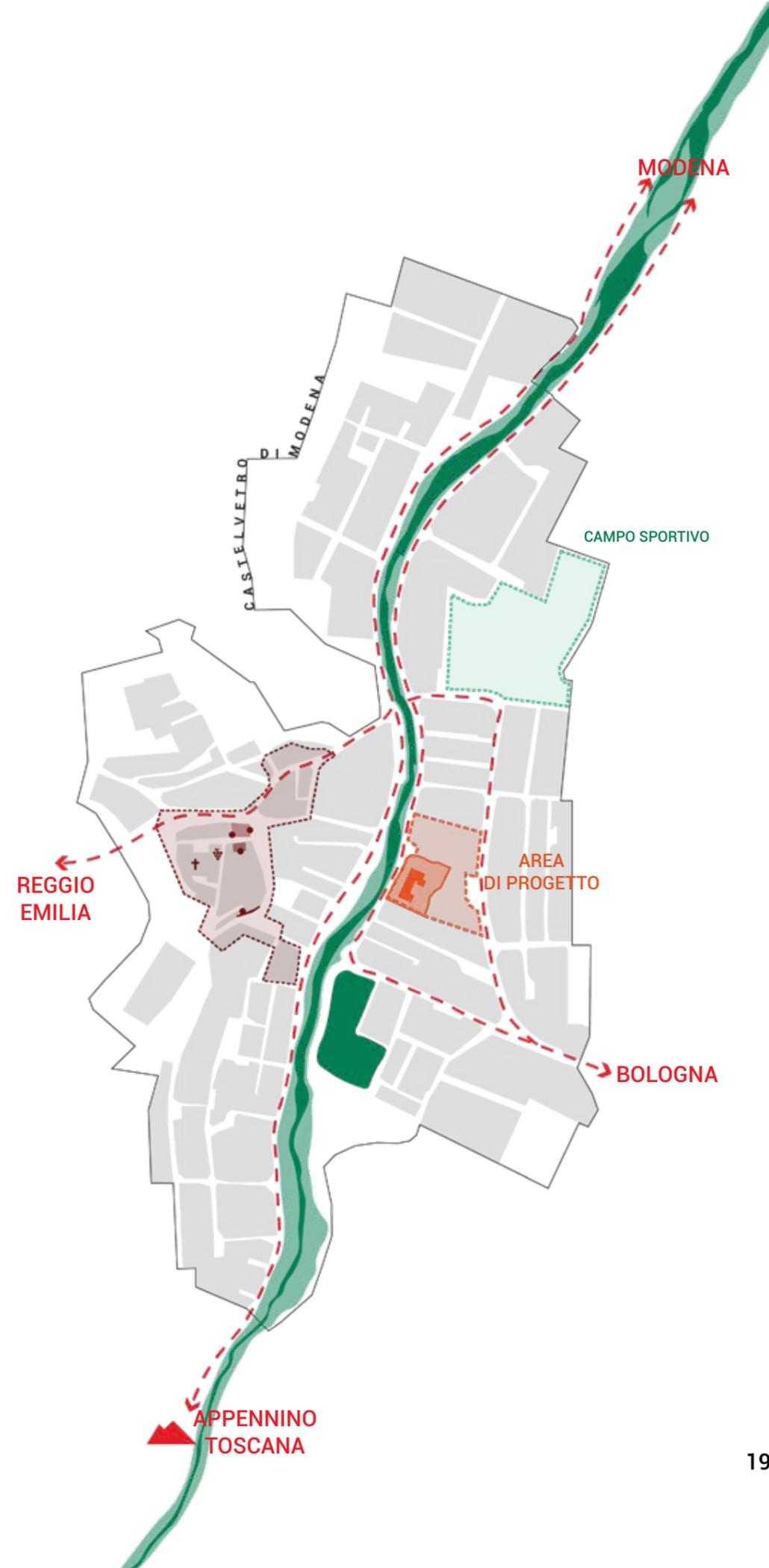
Piazza Roma

Su Piazza Roma vi affacciano due delle sei torri di epoca medievale presenti nel comune di Castelvetro: a sinistra la Torre delle Prigioni e a destra la Torre dell'Orologio. La piazza presenta una caratteristica pavimentazione a scacchiera, essa riproduce in dimensione "umana" il campo da scacchi.

Chiesa dei Santi Senesio e Teopompo

X Secolo, sorse come cappella privata dei marchesi Rangoni. Nel 1930 viene terminato il campanile, con un'altezza di 48 m

Sempre nel centro storico trova posto la sede dell'Enoteca Regionale dell'Emilia Romagna, Castelvetro, infatti, è conosciuto anche per il suo Lambrusco Grasparossa che viene prodotto attraverso la coltura principale del territorio: la vite.





Estratto PRG Comune di Castelvetro

La scuola media Anna Frank si trova in un'area dedicata alle strutture d'istruzione primaria e secondaria del Comune di Castelvetro

La scuola oggetto di progetto occupa una superficie di circa 1600 metri quadrati, mentre il polo scolastico completo copre 2400 metri quadrati di superficie. Gli edifici che trovano posto in questo luogo si sviluppano su due livelli fuori terra e un piano interrato, limitati ad est e ovest da assi stradali a medio-alto scorrimento. In particolare la Scuola Media Anna Frank si affaccia sulla provinciale via Palona, accanto alla quale scorre il Torrente Guerro.

A fianco: Inquadramento Territoriale, Google Maps





Viste Area adiacente alla scuola, Google Maps

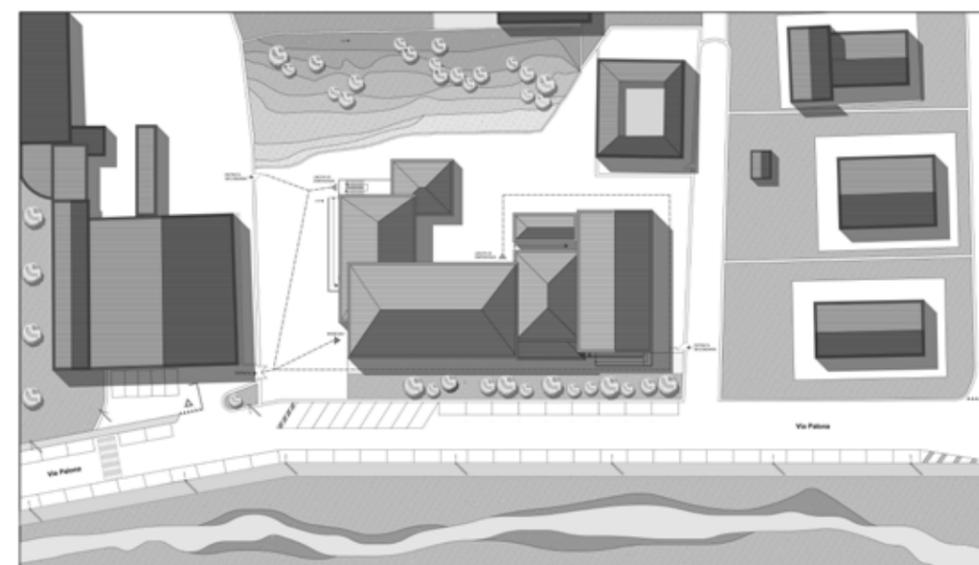


Vista esterna da SP Via Palona

Il complesso è costituito da diverse unità a "C" che si affacciano su una corte interna. Attualmente la struttura scolastica comprende:

- 12 classi (con una media di 25 alunni per aula)
- 1 aula di artistica
- 1 aula di musica
- 2 aule di informatica
- 1 aula di sostegno
- 4 blocchi di servizi igienici (2 per piano, suddivisi per sesso)
- 1 palestra con due spogliatoi
- 1 fabbricato per la preparazione dei pasti

Il Comune ha inserito all'interno della Programmazione Triennale Nazionale Unica per l'Edilizia Scolastica del triennio 2018-2020 la richiesta di un intervento di ampliamento e miglioramento sismico per la scuola qui analizzata. L'esigenza della richiesta nasce per la domanda sempre maggiore di studenti negli ultimi anni. Nel febbraio del 2019 viene aperto il bando per il progetto dell'ampliamento. La richiesta era quella di un volume aggiuntivo contenente



Inquadramento Territoriale realizzato dallo studio "FABBRICART" con sede a Modena

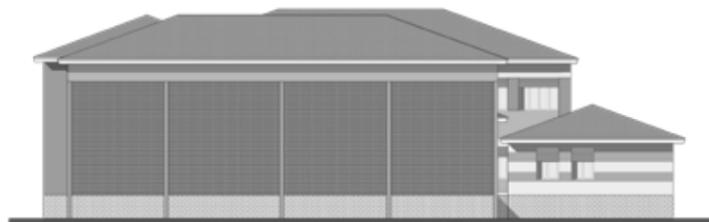
StatoDiFatto



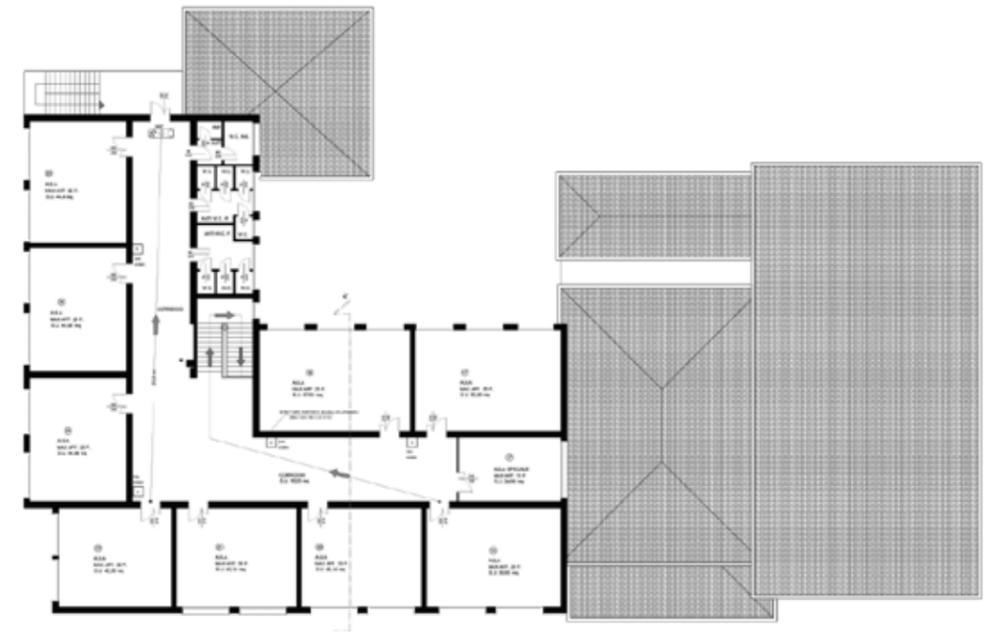
Pianta piano terra dell'esistente, realizzato dallo studio "FABBRICART" con sede a Modena



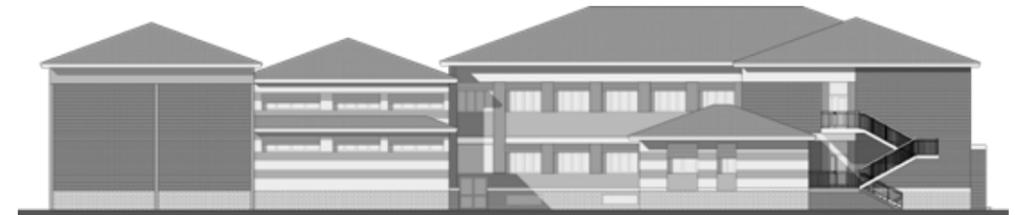
Prospetto nord dell'esistente, realizzato dallo studio "FABBRICART" con sede a Modena



Prospetto sud dell'esistente, realizzato dallo studio "FABBRICART" con sede a Modena



Pianta piano primo dell'esistente, realizzato dallo studio "FABBRICART" con sede a Modena



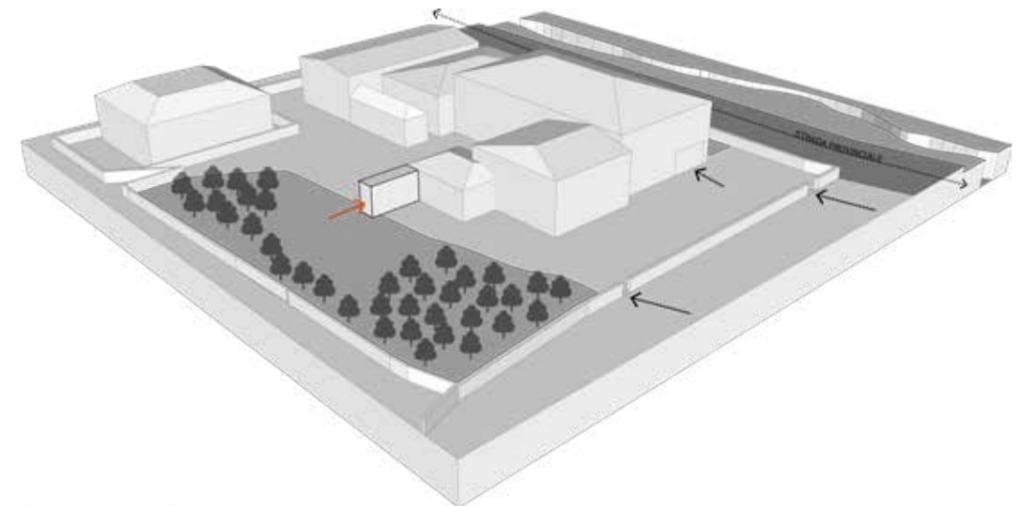
Prospetto est dell'esistente, realizzato dallo studio "FABBRICART" con sede a Modena



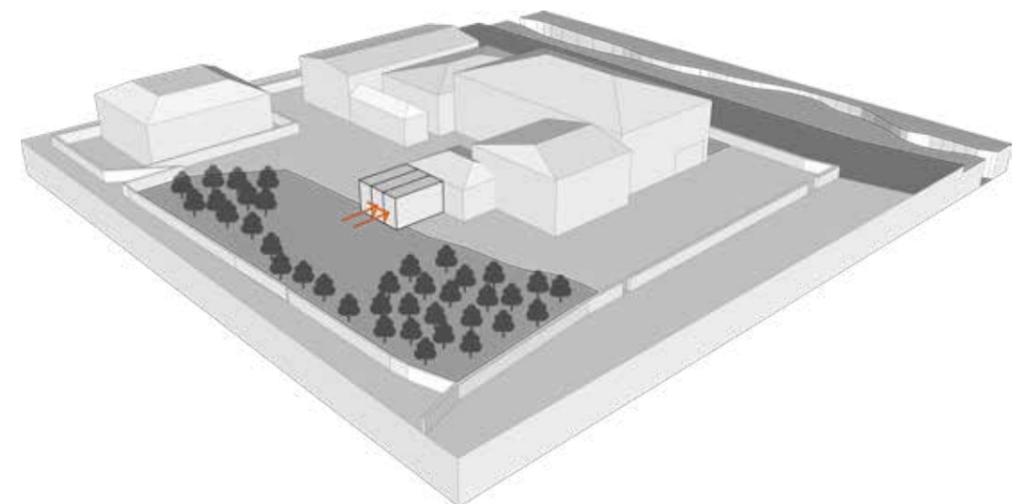
Prospetto ovest dell'esistente, realizzato dallo studio "FABBRICART" con sede a Modena

ConceptdiProgetto

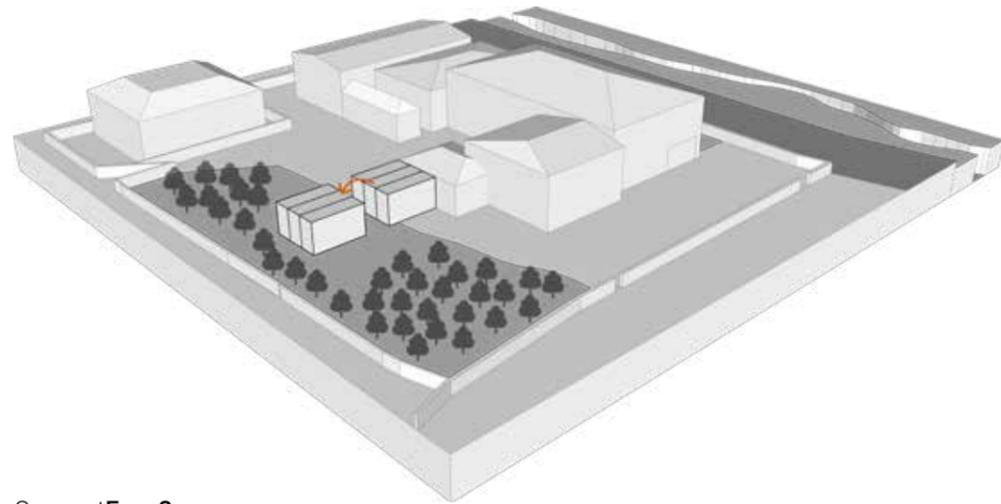
La richiesta del bando di gara prevede l'aggiunta alla struttura esistente di quattro aule didattiche comprese dei relativi servizi igienici. Il primo passo è stato scegliere la localizzazione dell'ampliamento, era necessario trovare una posizione ottimale anche per quanto riguarda gli accessi. La struttura esistente presenta una scala antincendio e relativi accessi (uno diretto su un'aula e uno su uno spazio di distribuzione) ragion per cui si è deciso di posizionare qui l'ampliamento. In questo modo si possono sfruttare gli accessi esistenti per collegare le nuove aule all'esistente per mezzo di una struttura metallica contenente una scala (da utilizzarsi anche come scala antincendio). Successivamente sono stati disposti i moduli aula in aderenza alla struttura della scuola esistente e negli spazi di "risultato" sono stati posti i moduli bagno e gli spazi di distribuzione.



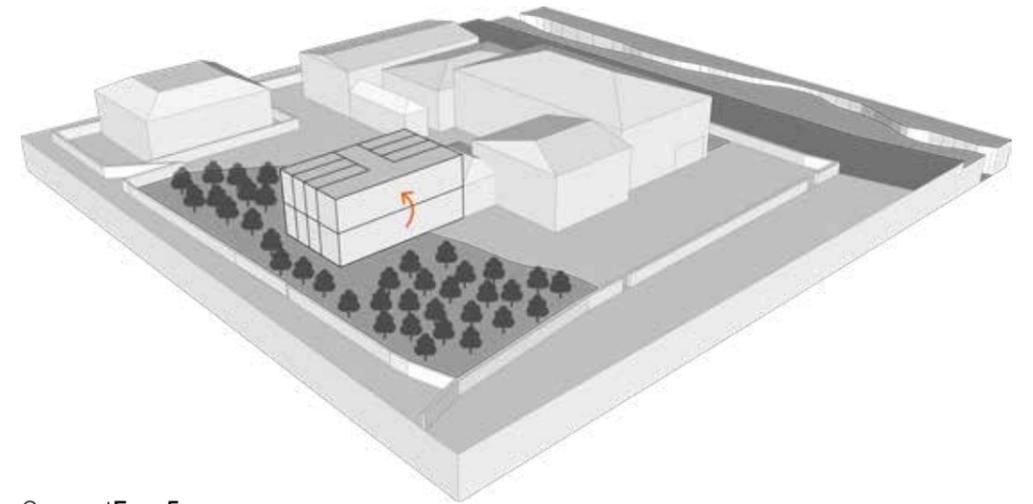
Concept**Fase1**
Posa del primo modulo aula



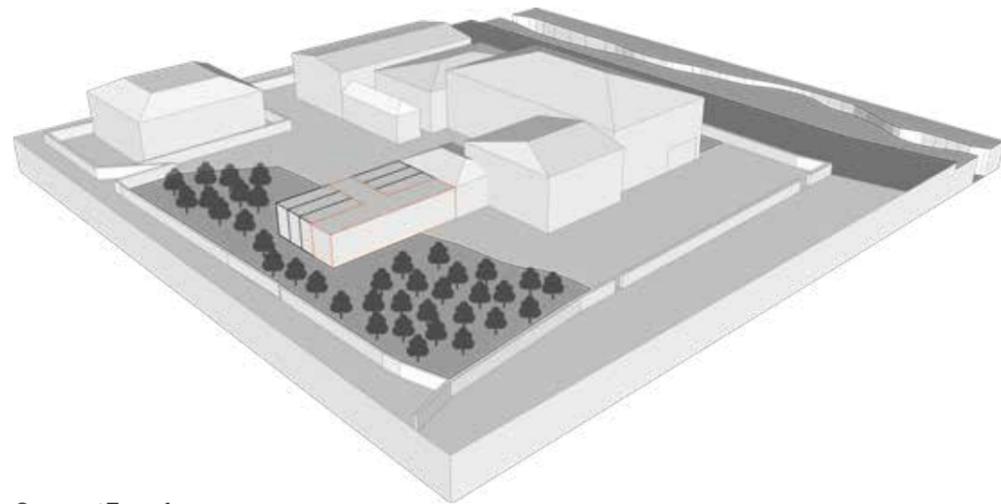
Concept**Fase2**
Completamento della prima aula



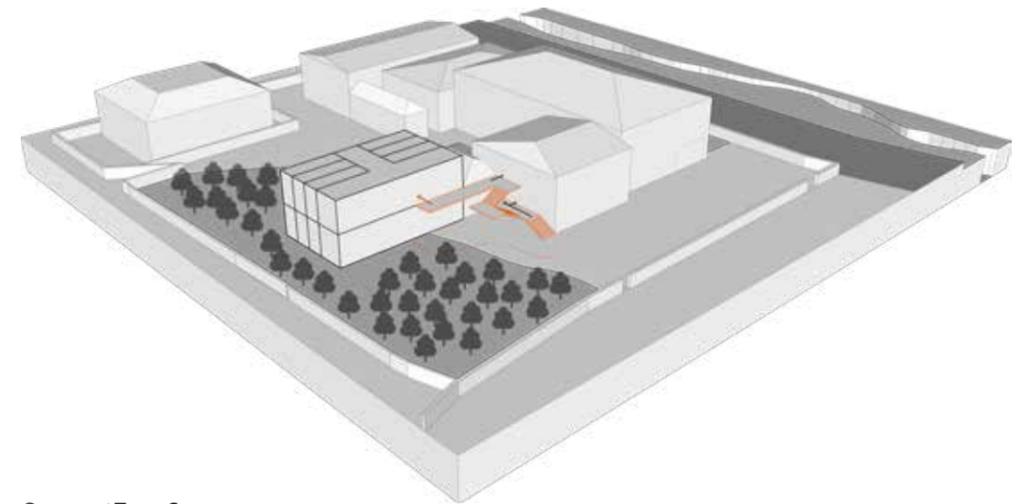
Concept**Fase3**
Posa dei moduli per realizzare la seconda aula



Concept**Fase5**
Posa del primo piano, uguale al piano terra



Concept**Fase4**
Realizzazione degli spazi di distribuzione e posa dei moduli bagno



Concept**Fase6**
Realizzazione della scala per l'accesso al primo piano dell'ampliamento e collegamento alla struttura esistente

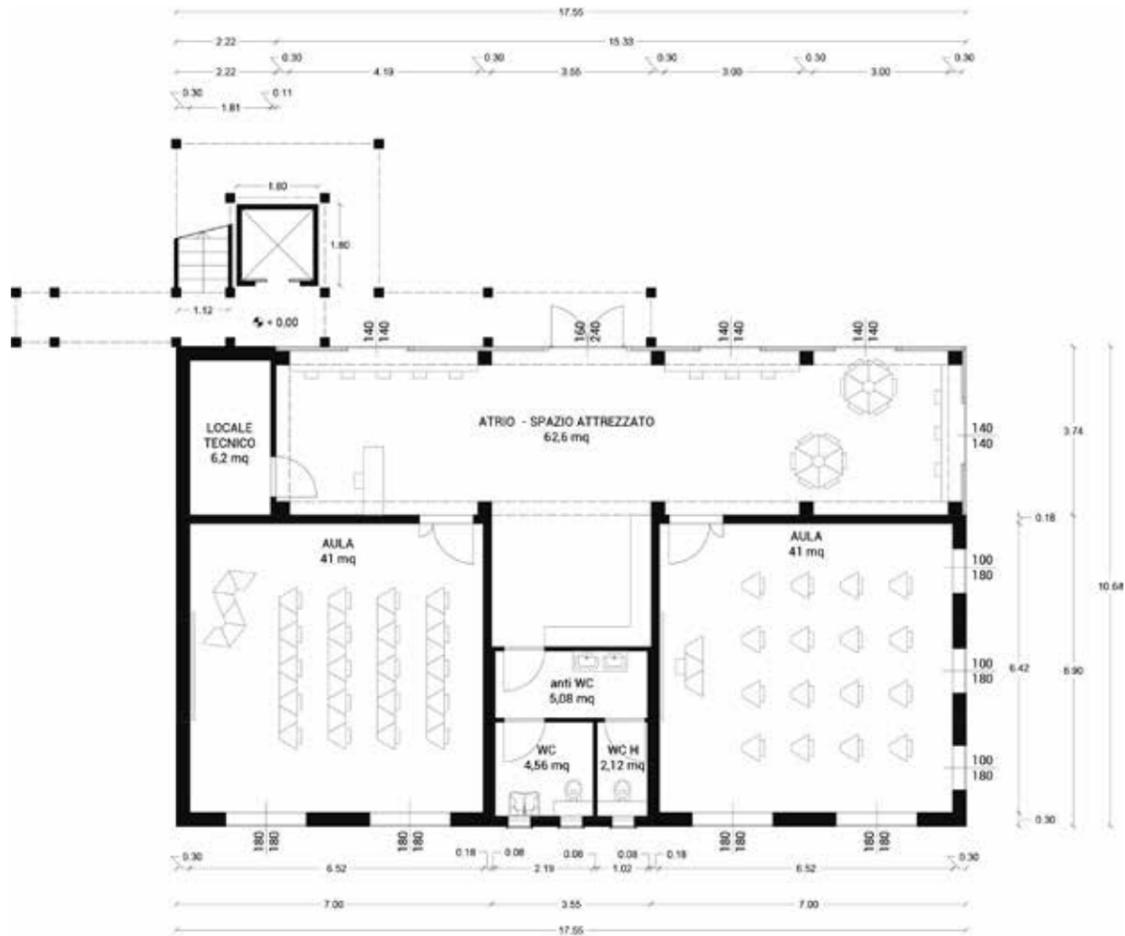
Masterplan

L'ampliamento è collocato a nord-est affianco al blocco esistente che ospita l'aula di artistica. Gli accessi all'area della scuola rimangono invariati, uno di essi collega lo spazio aperto della scuola media Anna Frank con la scuola elementare vicina. Oltre alla sistemazione della pavimentazione esistente viene sistemato il verde a nord dell'ampliamento, mantenendo per quanto possibile le piantumazioni esistenti. Entrando nell'area di pertinenza della scuola si passa davanti all'ingresso principale della struttura esistente per arrivare ad uno "slargo", come una piazza, su cui si affaccia l'ampliamento di quattro aule. In questo modo oltre a rispondere alle esigenze richieste dal bando di gara si migliora la qualità dello spazio esterno offrendo un luogo di ritrovo e di svago per gli studenti.

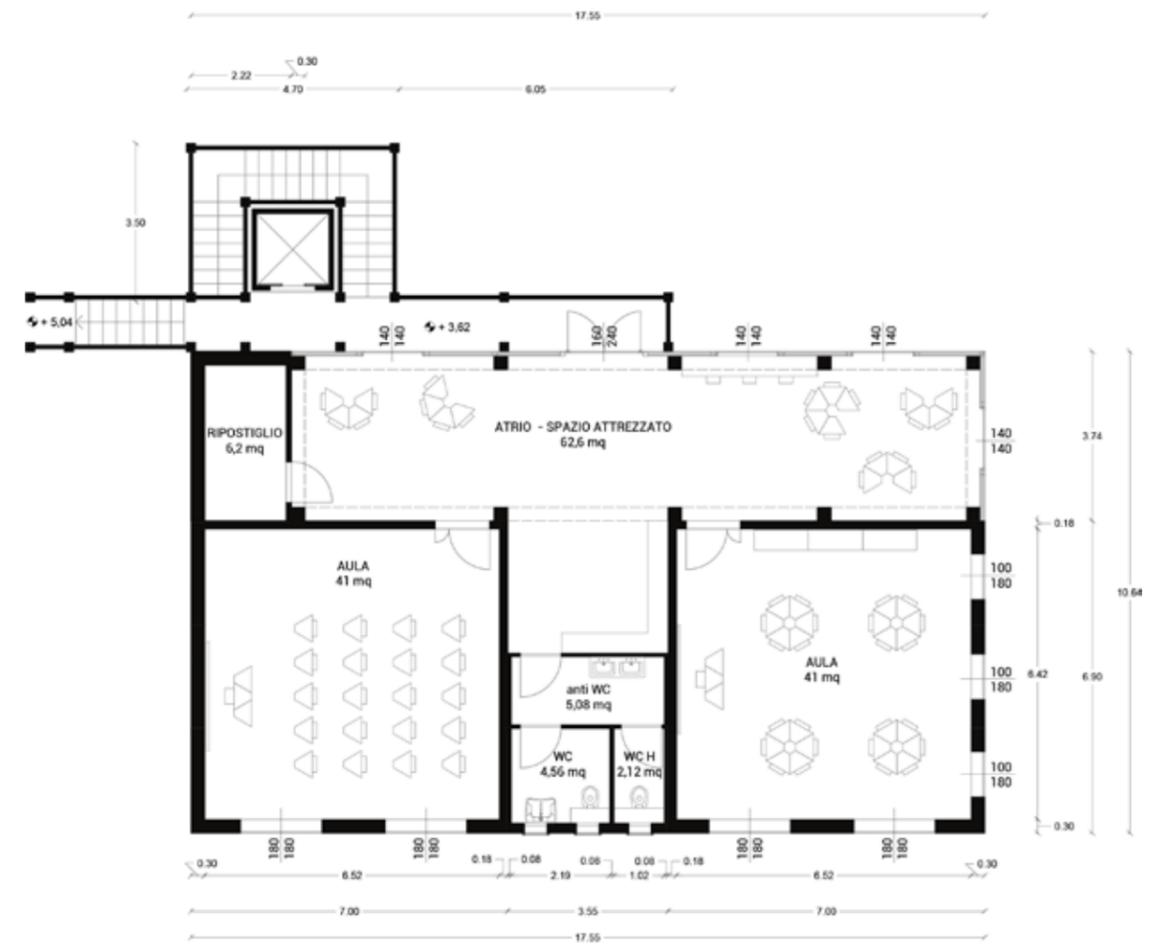
A fianco: Masterplan stato di progetto



Stato Di Progetto



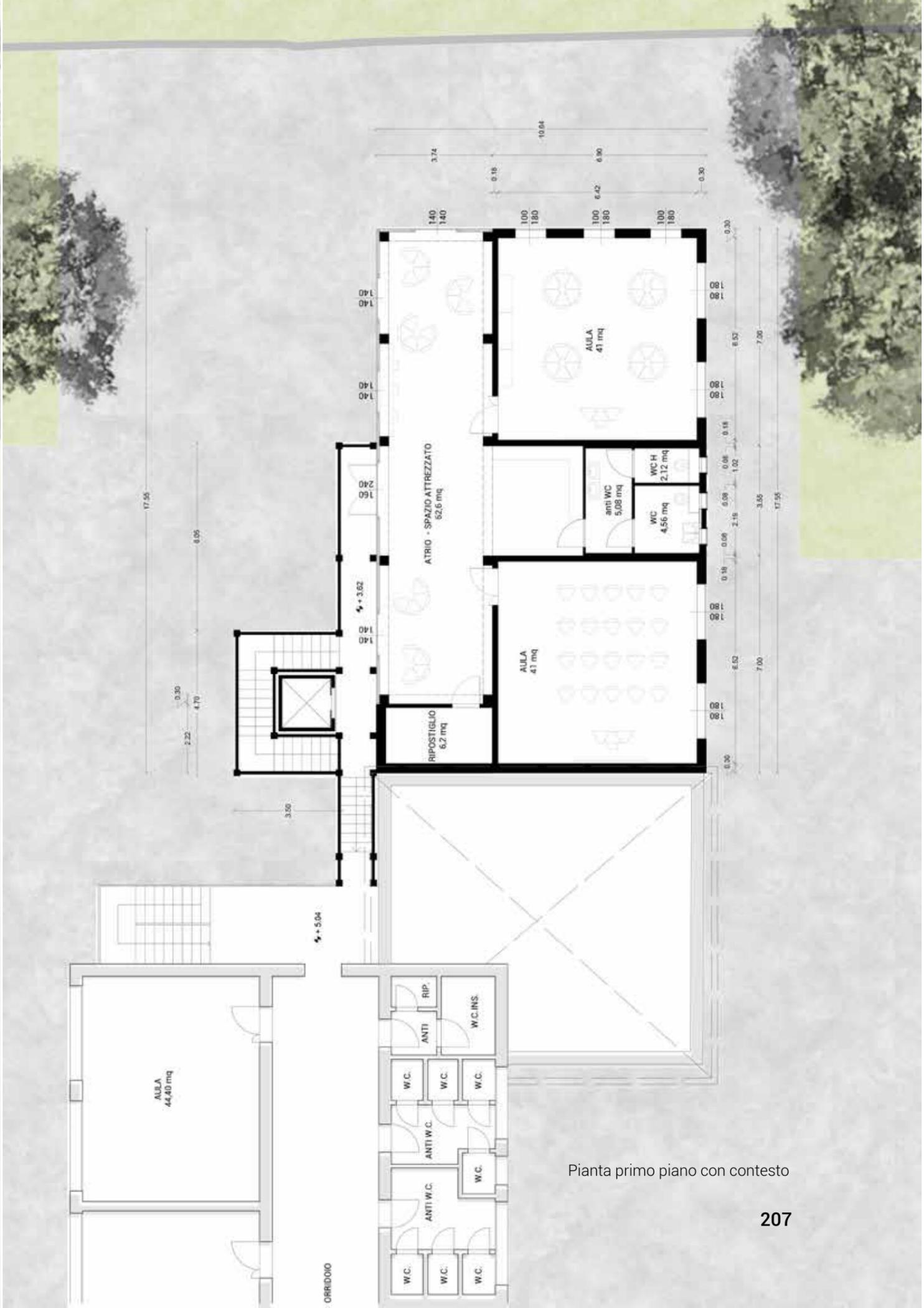
Pianta piano terra



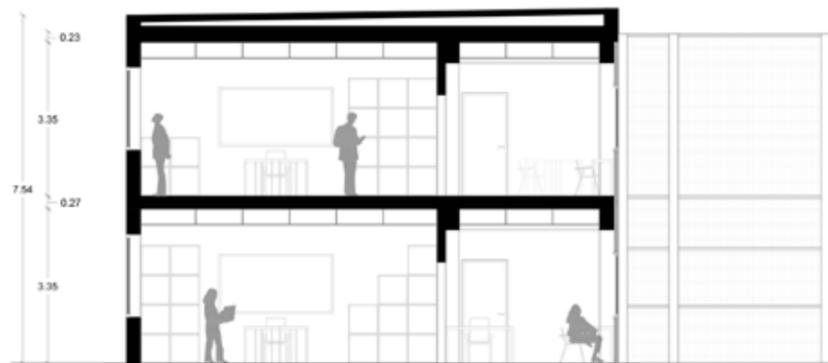
Pianta primo piano



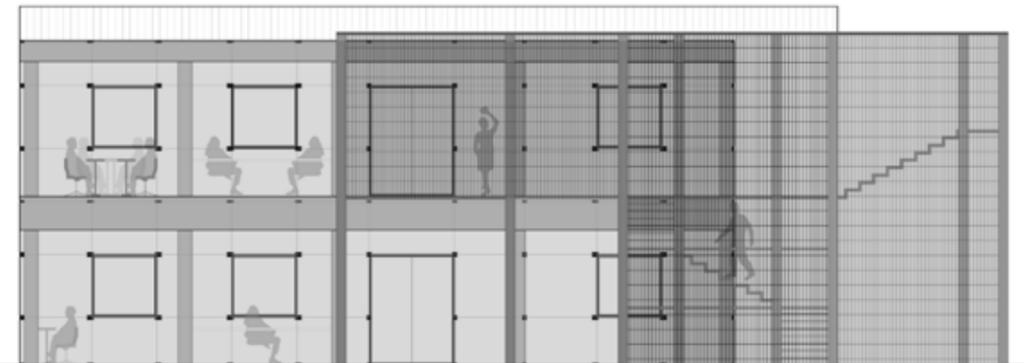
Pianta piano terra con contesto



Pianta primo piano con contesto



Sezione trasversale



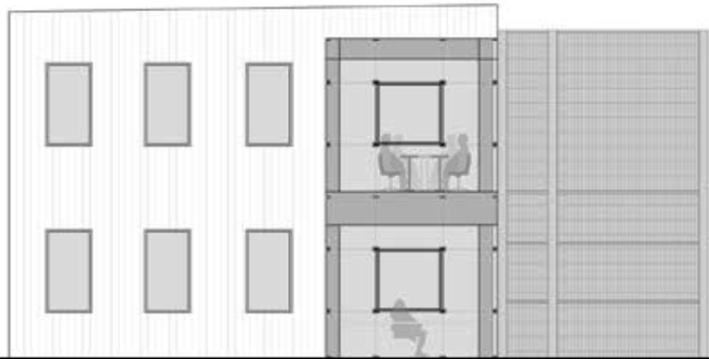
Prospetto nord



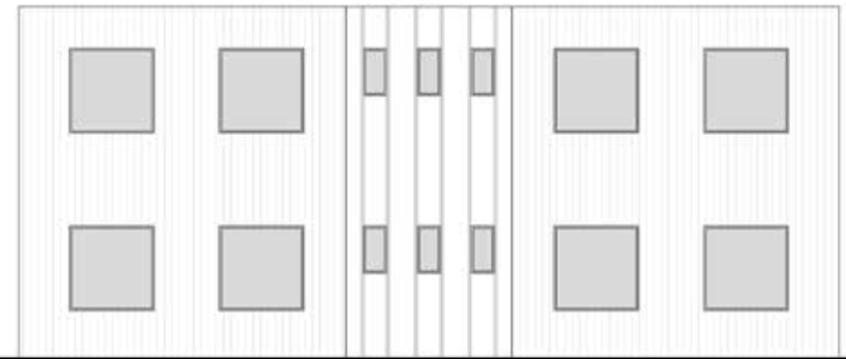
Sezione longitudinale



Prospetto nord



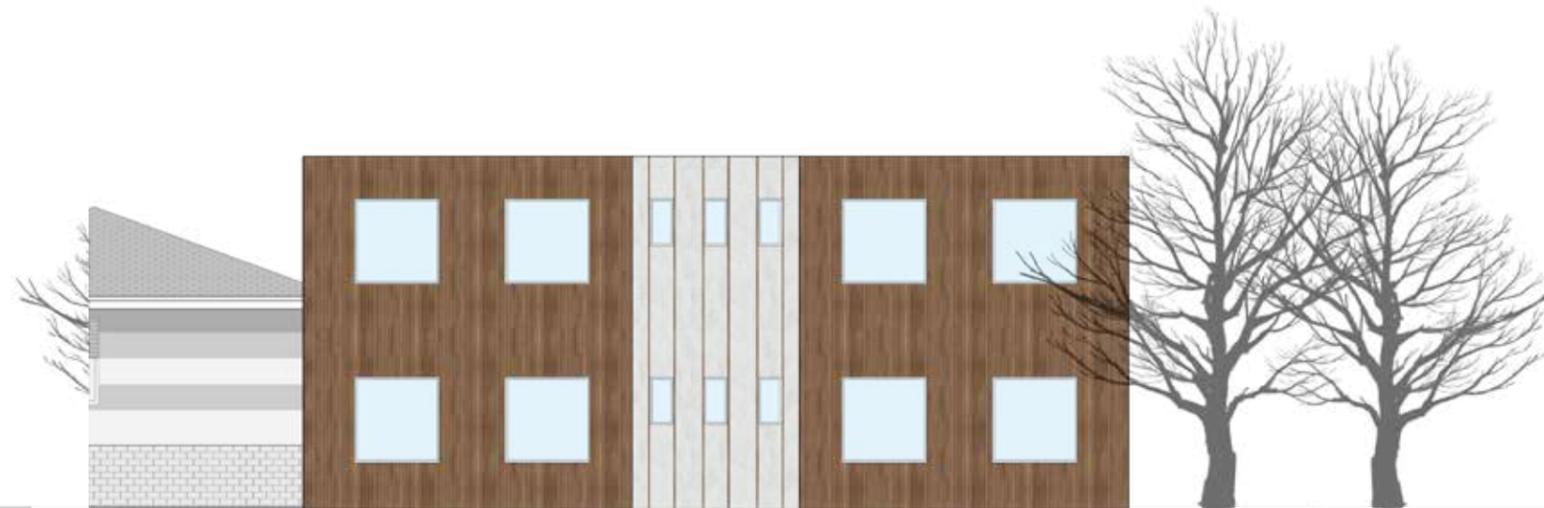
Prospetto est



Prospetto sud



Prospetto est

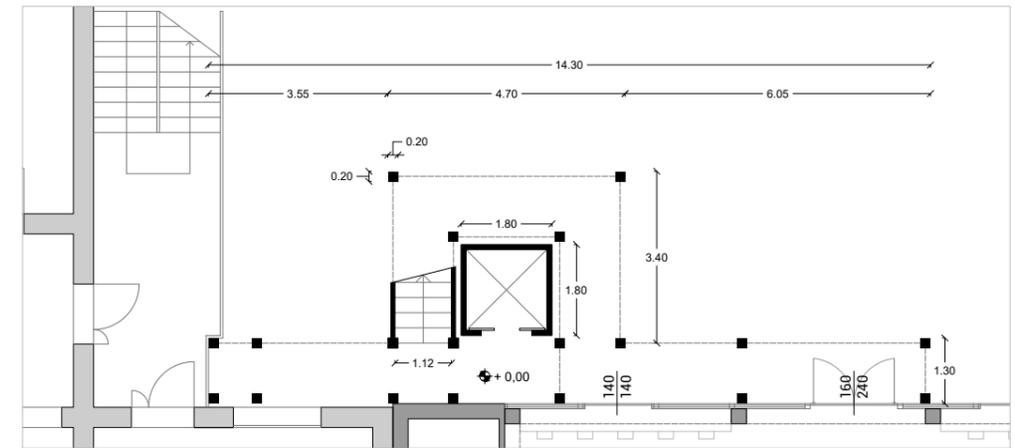


Prospetto sud

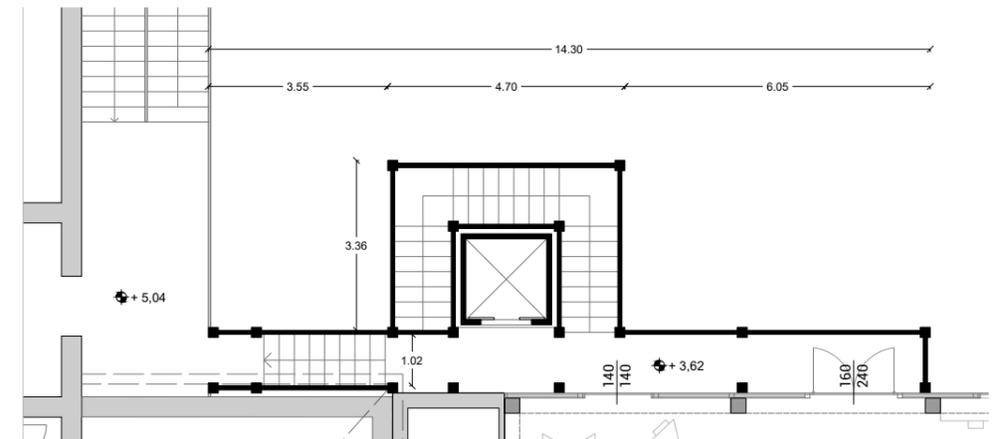
Scala



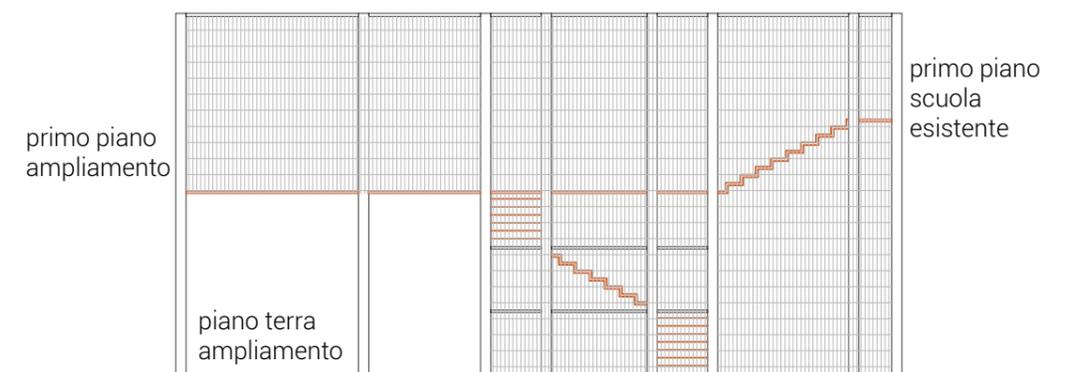
Per collegare il piano terra al primo è stata progettato un corpo scala autoportante in acciaio. Le rampe, oltre a portare al livello superiore, collegano gli spazi dell'ampliamento direttamente alla scuola esistente utilizzando la scala antincendio già presente. Le prime tre rampe circondano il vano ascensore realizzato in cemento. La struttura della gabbia metallica è costituita da un sistema di travi e pilastri in acciaio e una copertura per proteggere dagli agenti atmosferici. Il rivestimento, anch'esso metallico, è una griglia con fori circolari bianca che funge da riparo e crea giochi di luce.



Estratto pianta piano terra, scala

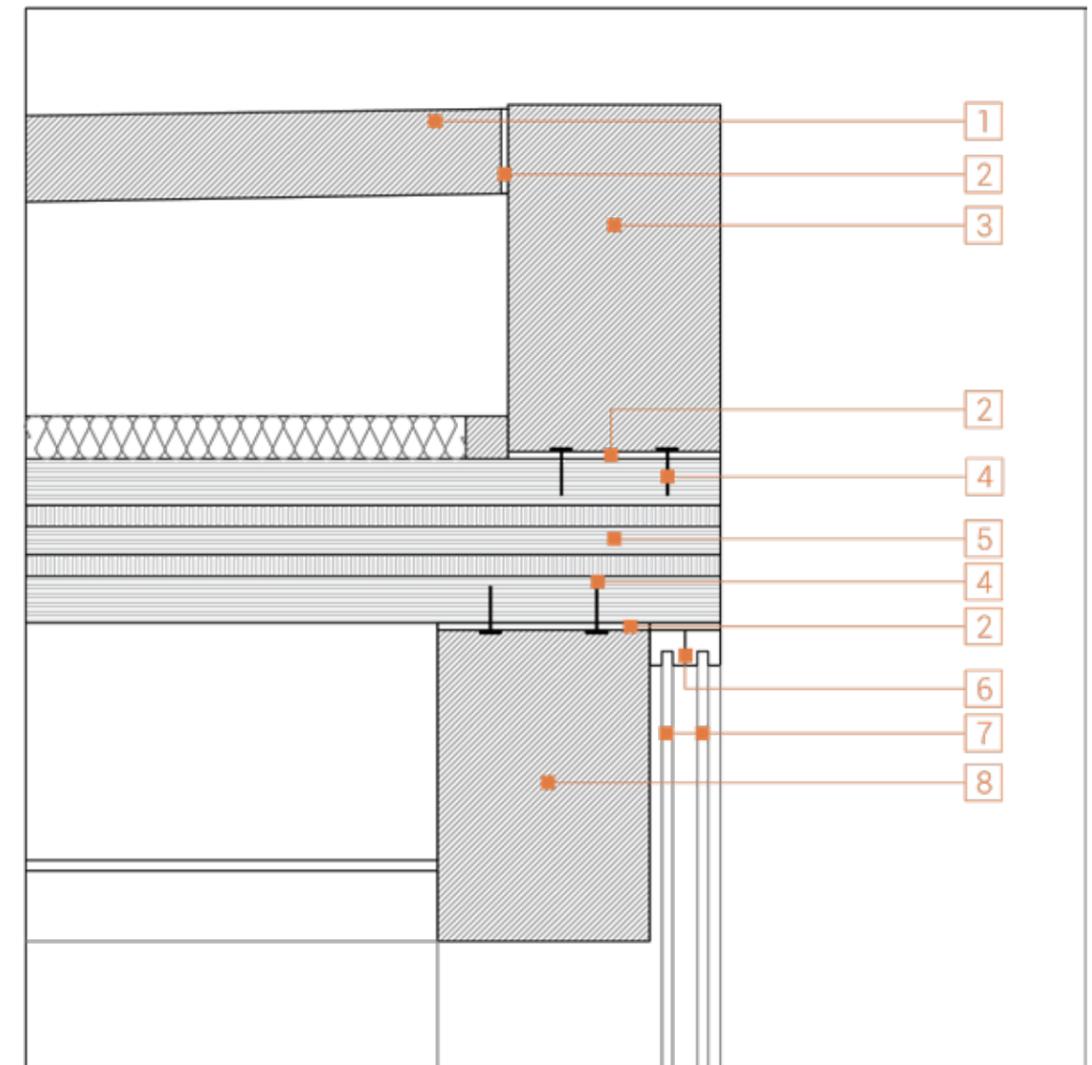


Estratto pianta primo piano, scala



Estratto prospetto lato nord, scala

Copertura



1. Copertura in legno, sp. 100 mm
2. Nastro corpiunto
3. Trave legno massello B=30 H=50
4. Viti ancoraggio elementi in legno
5. Pannello CLT L7s-2 sp. 220
6. Infisso PVC fisso per facciata
7. Doppio vetro
8. Trave B=30 H=45

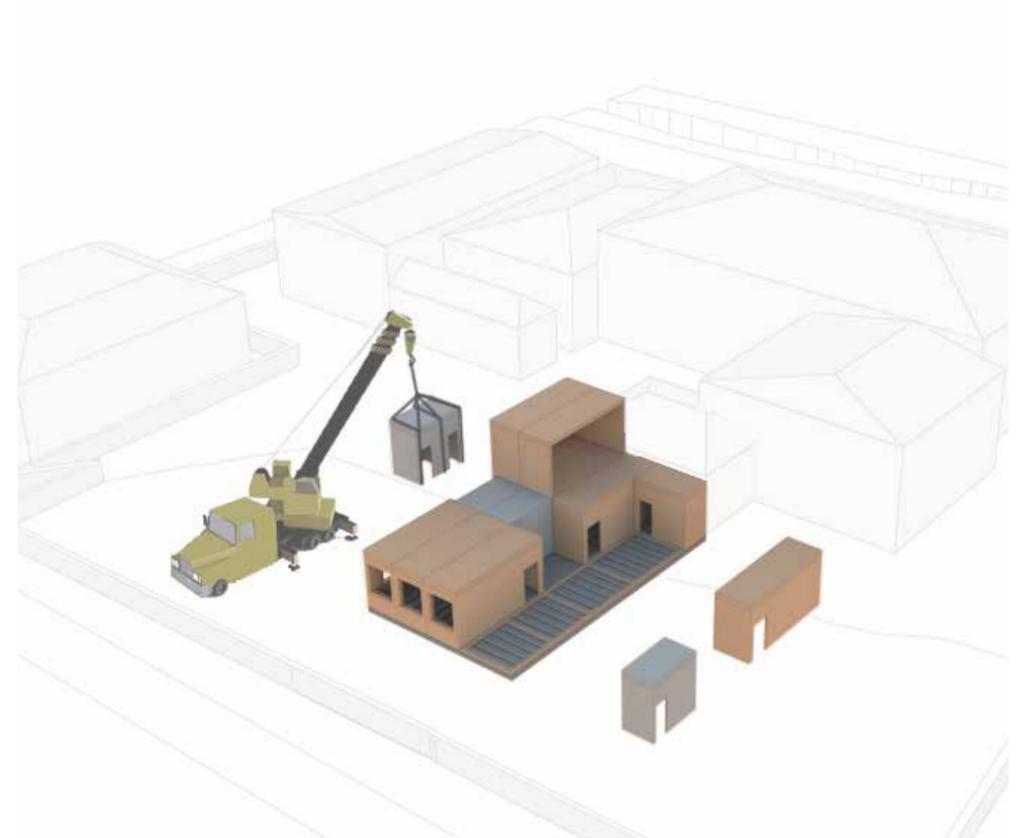


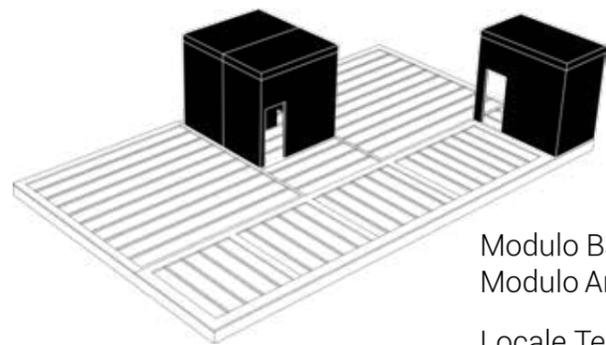


ProcessodiRealizzazione

Il metodo di costruzione off-site permette di ridurre le lavorazioni di cantiere che per questo ampliamento prevedono:

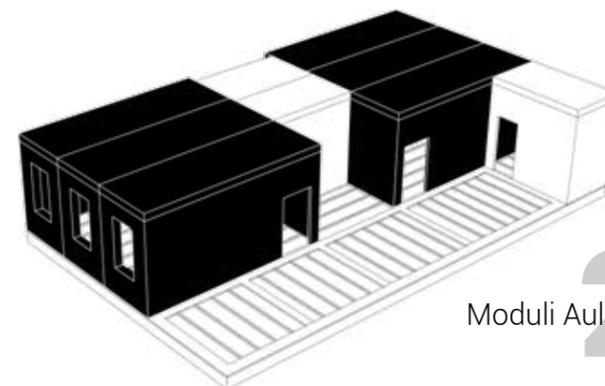
- posa dei moduli finiti
- allacciamento agli impianti idraulico ed elettrico
- realizzazione dell'ala sud con la sistemazione di:
 - pilastri
 - travi
 - facciata continua
- rivestimento di facciata
- montaggio del corpo scala





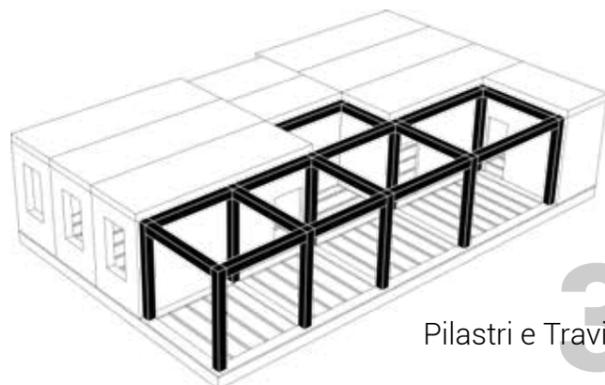
Modulo Bagno e
Modulo Anti-Bagno
Locale Tecnico

1



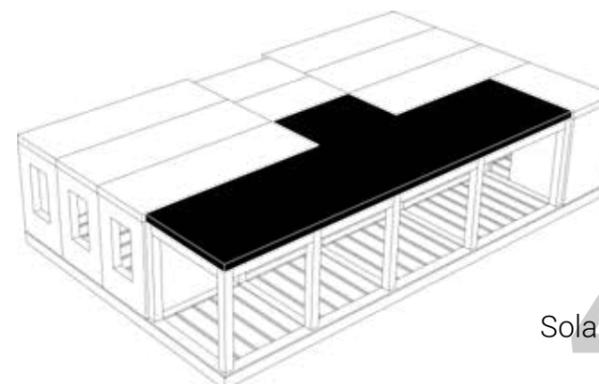
Moduli Aula

2



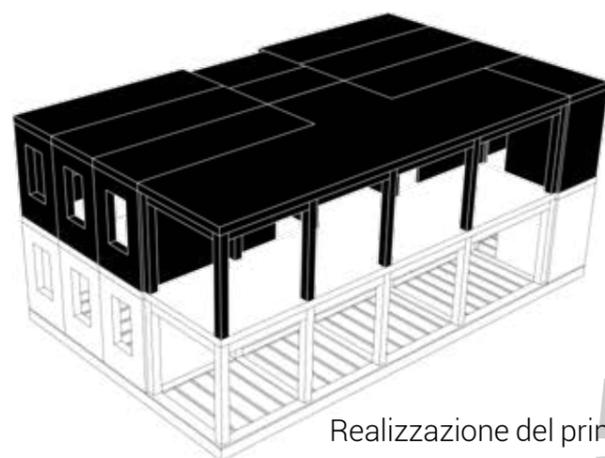
Pilastrini e Travi

3



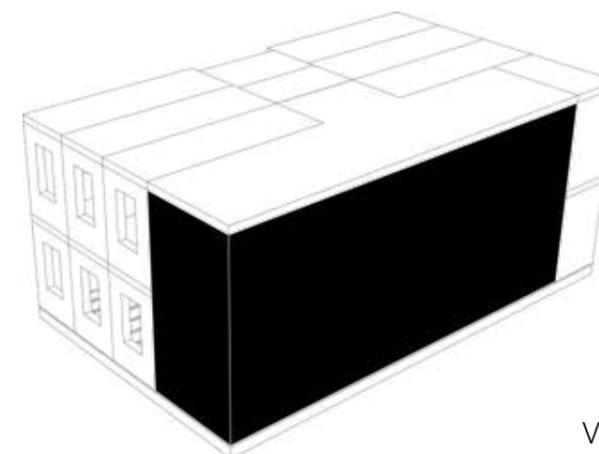
Solaio

4



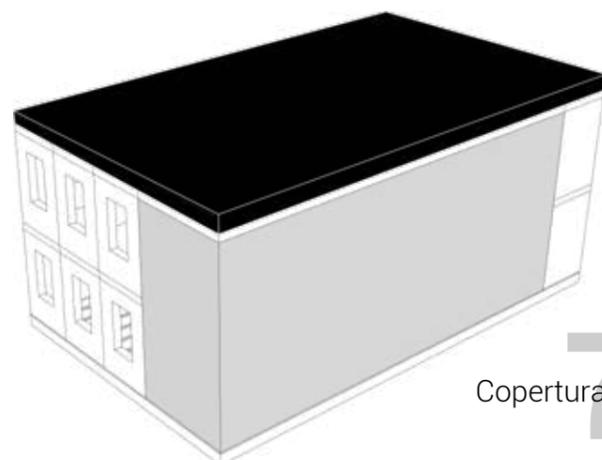
Realizzazione del primo piano

5



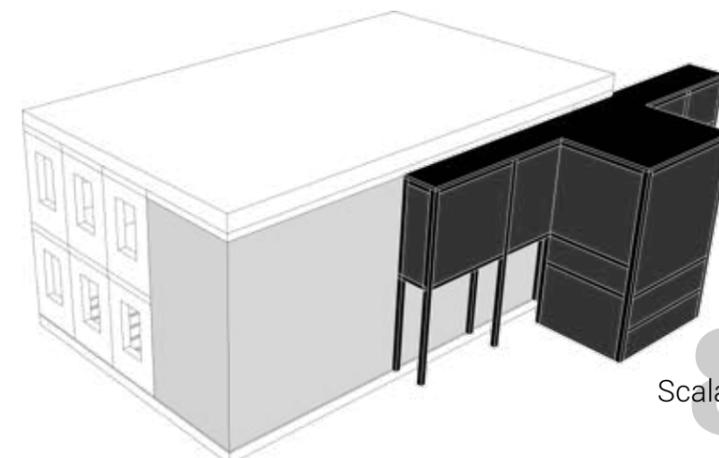
Vetrata

6



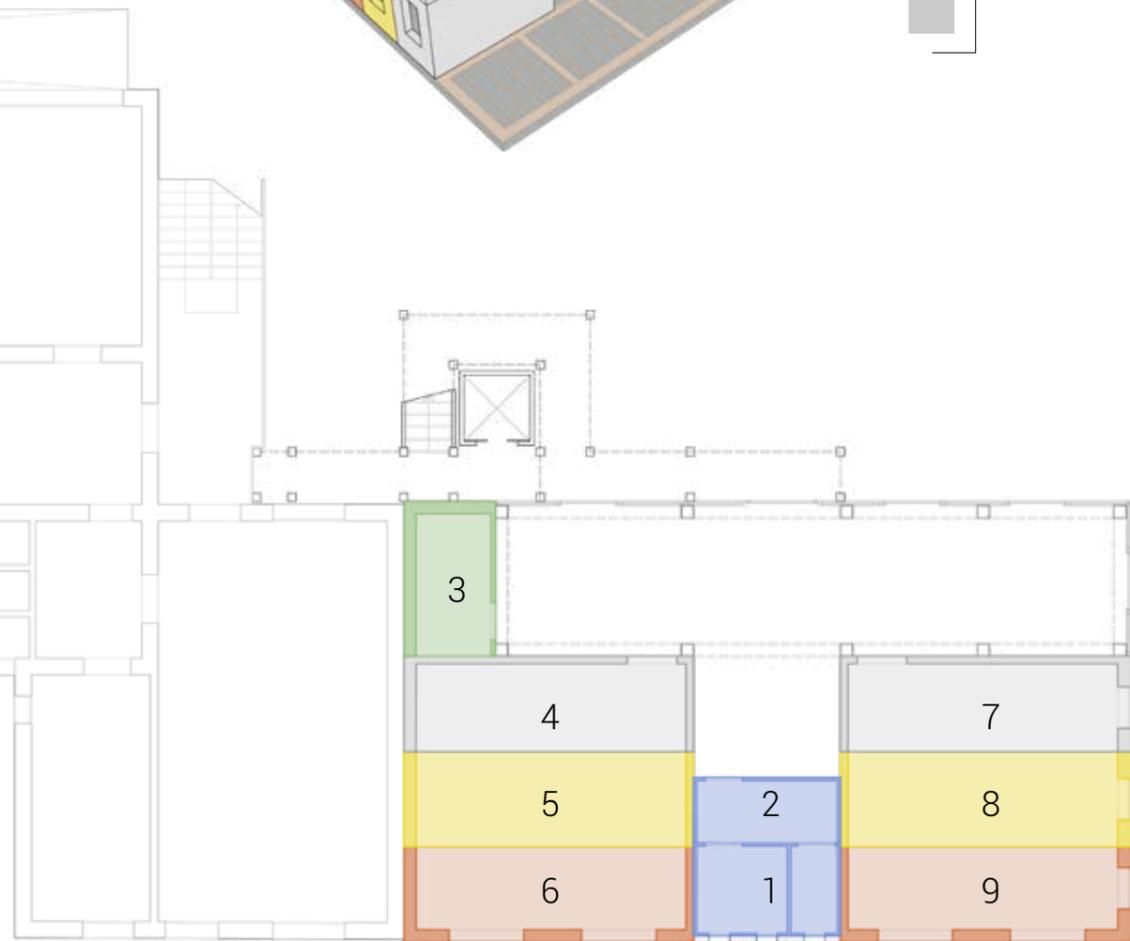
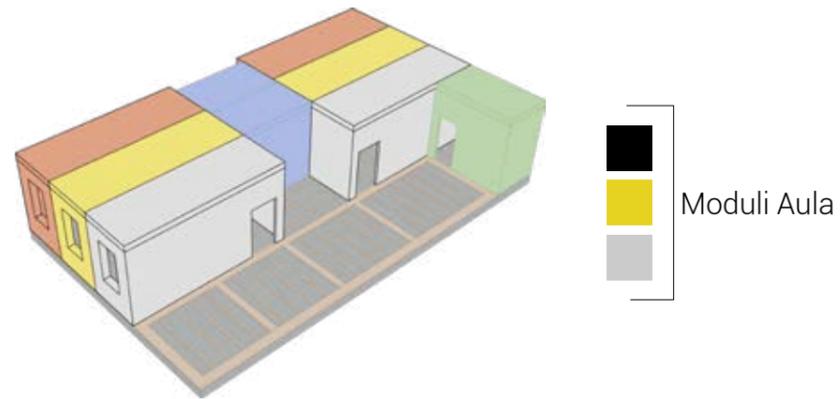
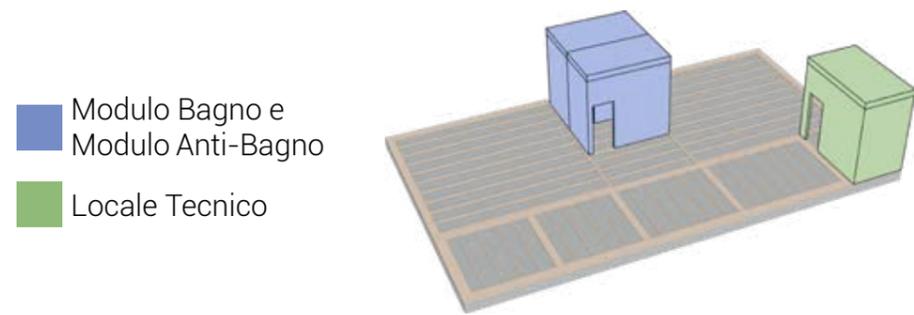
Copertura

7

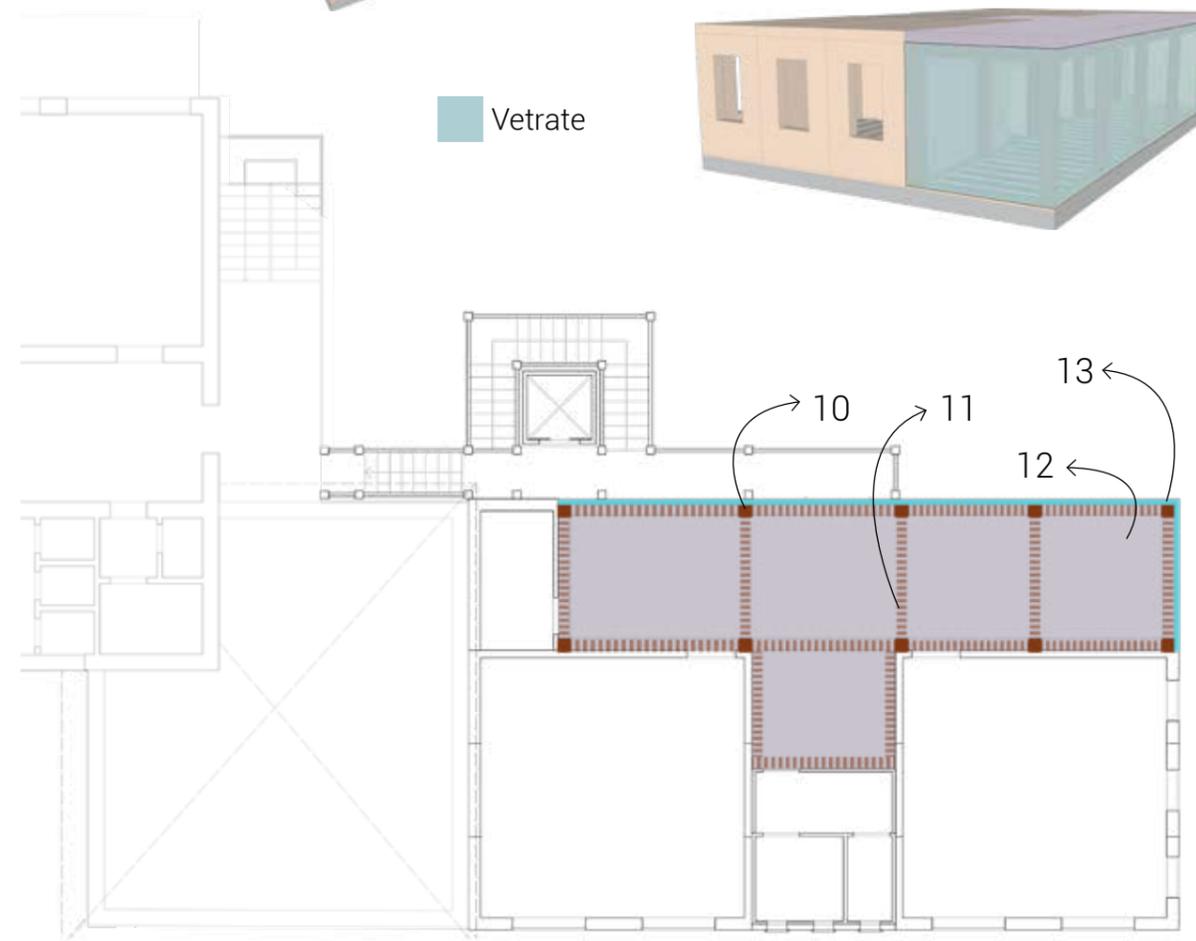
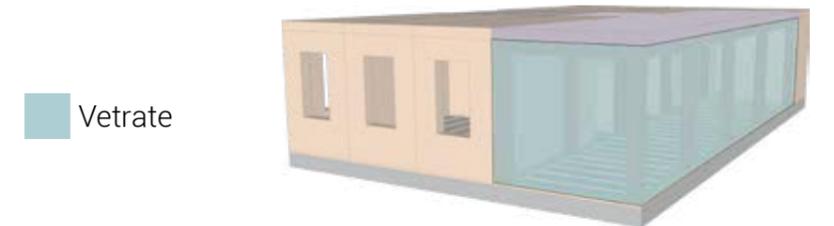
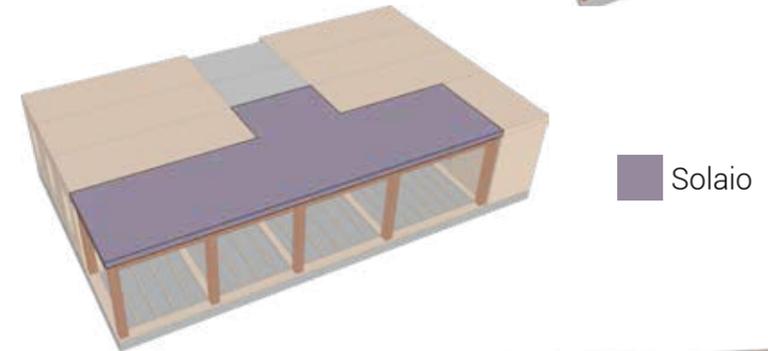


Scala

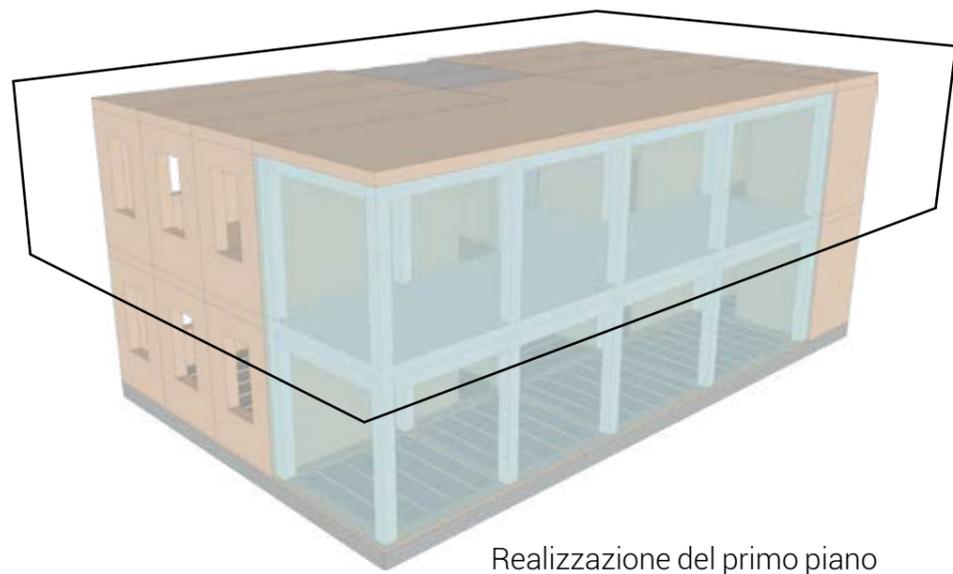
8



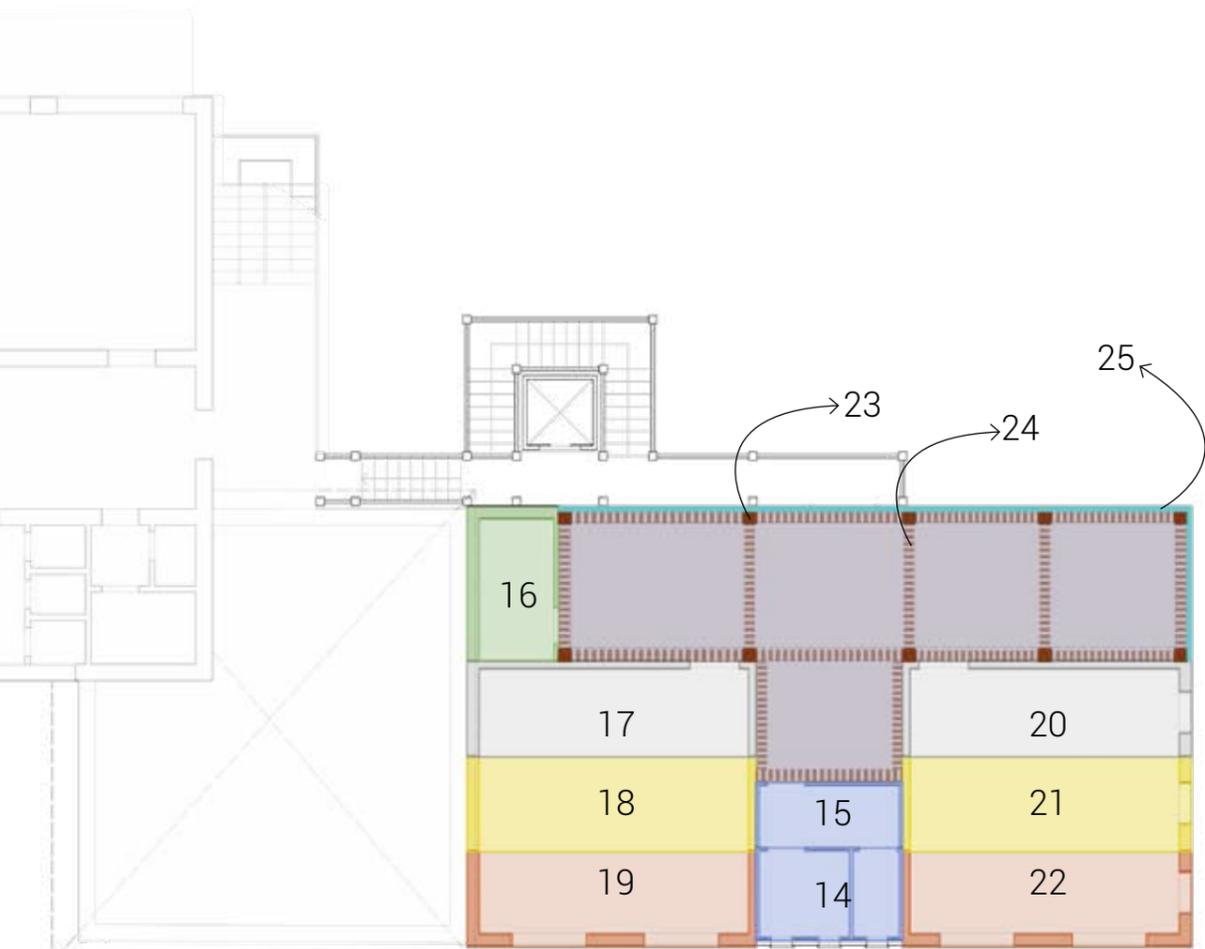
Pianta piano terra, ordine di posa dei moduli bagno, modulo tecnico e moduli aula



Pianta piano terra, ordine di posa dei pilastrini, delle travi, del solaio e della facciata continua



Realizzazione del primo piano

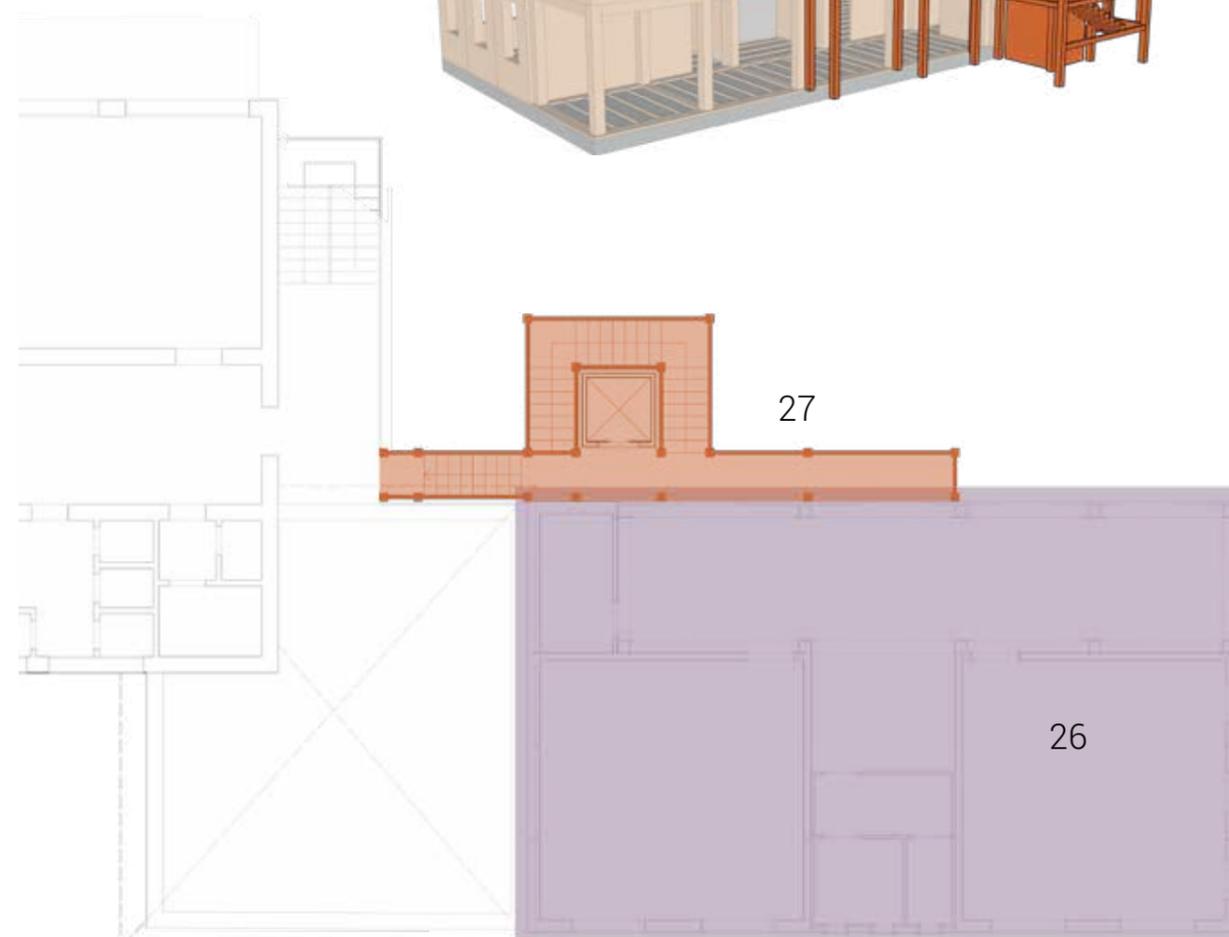


Pianta primo piano, ordine di posa degli elementi come da piano terra

Copertura



Scala

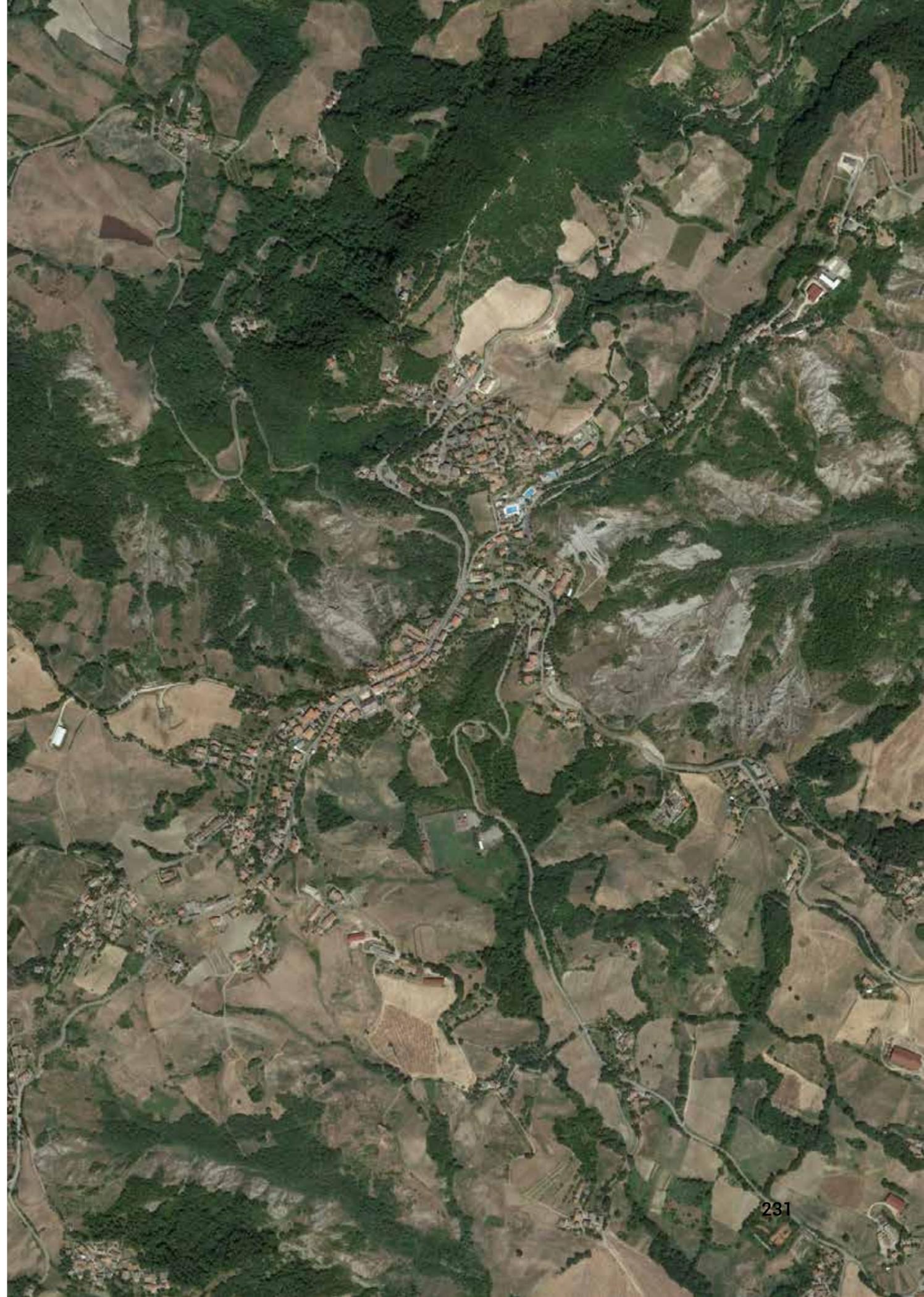


Pianta primo piano, posa della copertura e del corpo scala

3.1
SCUOLA MEDIA G.B. TOSCHI
Baiso (RE)

Baiso è un piccolo comune montanaro della provincia di Reggio Emilia, distante dal capoluogo 33 chilometri. Il territorio comunale si staglia nel medio appennino reggiano, tra la Valle del Tresinaro ad ovest e la Valle del Secchia a sud est. Baiso si trova mediamente ad un'altitudine di 542 metri sul livello del mare e si estende per una superficie di circa 75 chilometri quadrati. Attualmente il comune conta 3340 abitanti e il 10% della popolazione è di origine straniera.

A fianco: Vista aerea sul comune di Baiso, estratto Google Maps



Inquadramento **Territoriale**



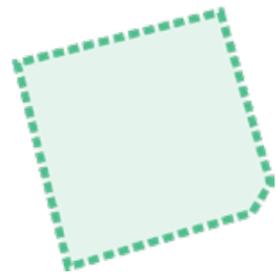
Area di progetto, Scuola Media G.B. Toschi



Chiesa di San Lorenzo Martire

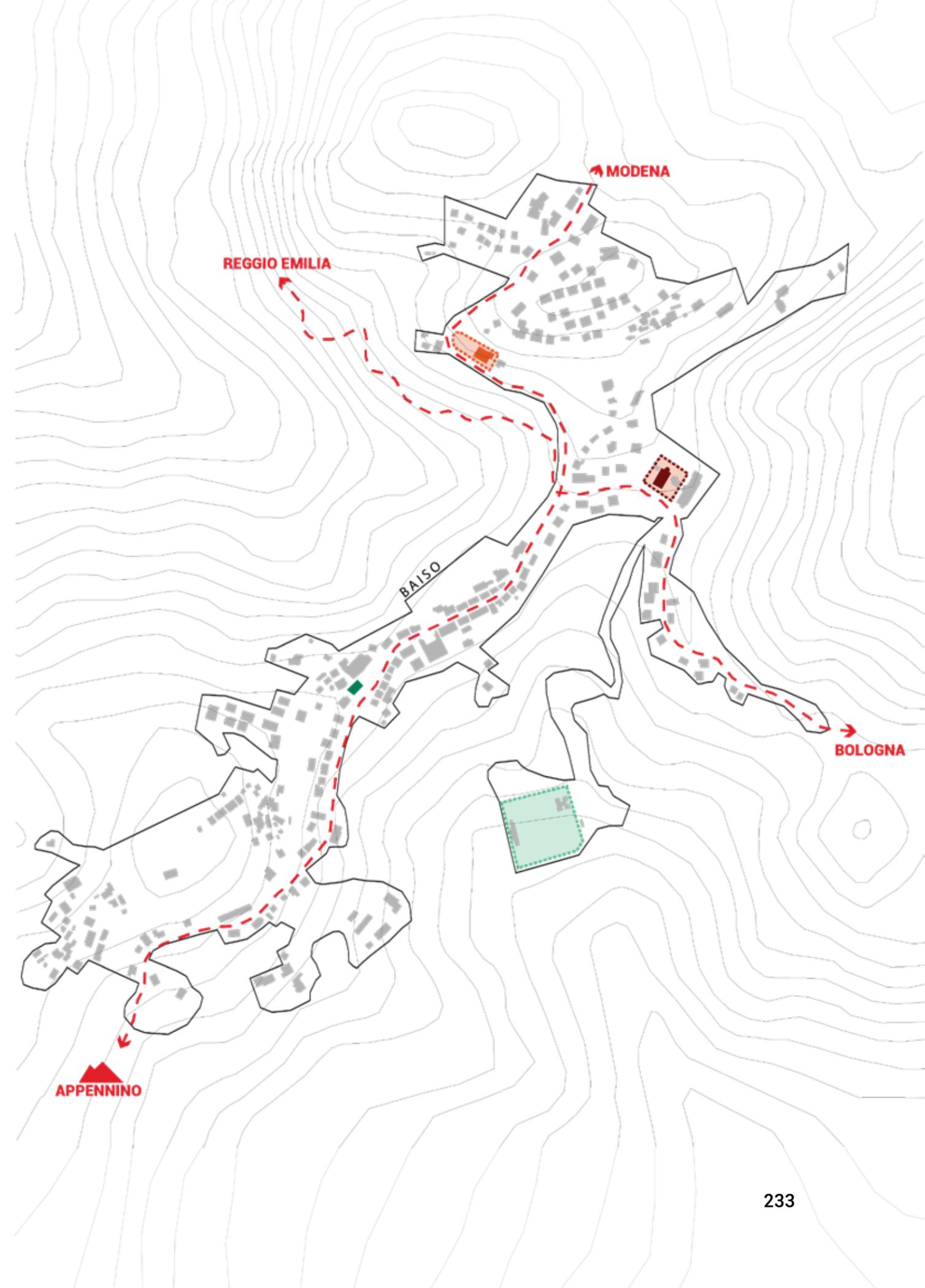


Comune di Baiso

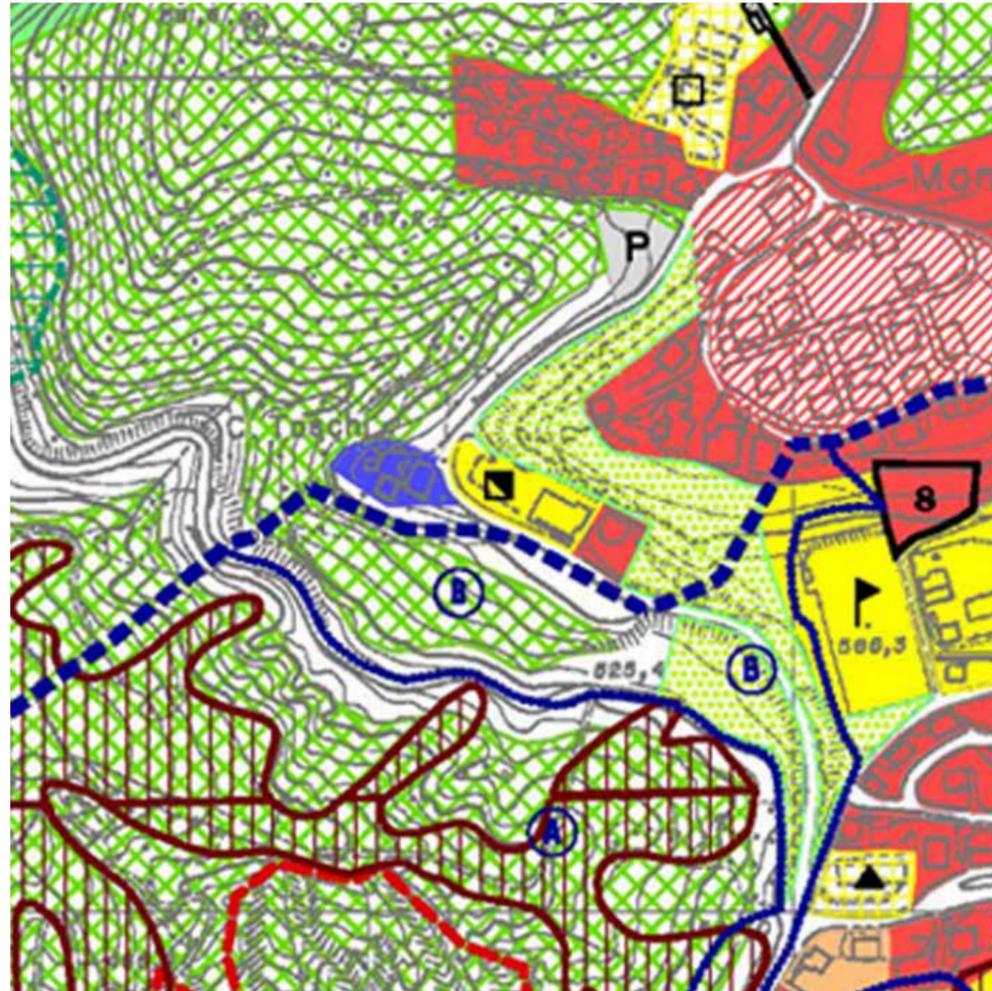


Stadio comunale Mapiana

A fianco: Inquadramento territoriale

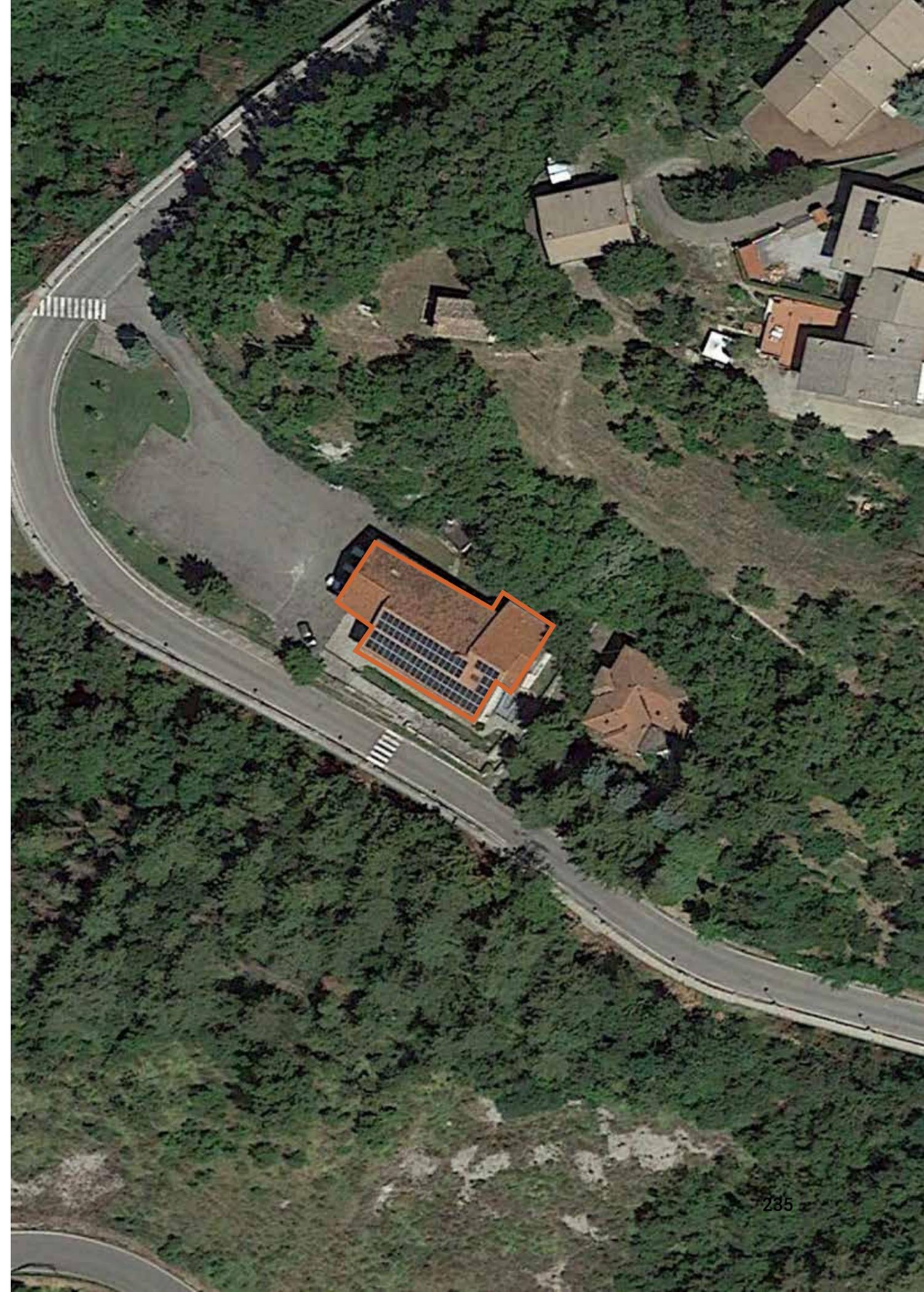


La Scuola Media Toschi è situata su un versante nella parte nord del comune, lungo la strada provinciale Via Toschi. Quest'area è definita da PRG come zona per attrezzature urbane di interesse generale. La struttura esistente occupa un'area di 3144 metri quadrati.



Estratto PRG Comune di Baiso

A fianco: Zoom su area di progetto, Google Maps



Il fabbricato esistente fu realizzato negli anni '60 dall'architetto Antonio Pastorini. Inizialmente il progetto prevedeva la realizzazione di un complesso scolastico più ampio di quello che è presente oggi, doveva essere realizzato anche un gruppo laboratori e una palestra. Venne però costruito solo il gruppo aule. Al piano terra sono presenti gli uffici della segreteria e della direzione, la sala insegnanti, un piccolo archivio, un laboratorio e servizi igienici, al primo piano sono presenti le aule. Il complesso è di dimensioni pari a 30 metri per 17,5 e raggiunge un'altezza massima di 6,90 metri.

La scuola Toschi è inserita nel piano triennale nell'annualità 2019 e viene richiesto un intervento di miglioramento della struttura esistente e l'aggiunta di un'aula polivalente da poter essere utilizzata anche come sala civica.



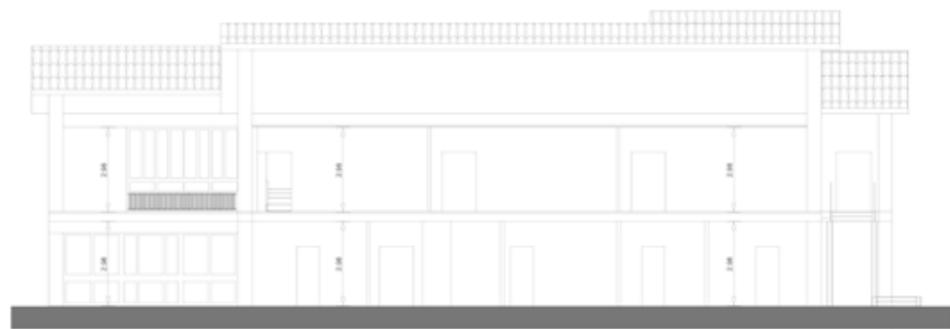
Vista su ingresso, fronte sud.



Pianta piano terra



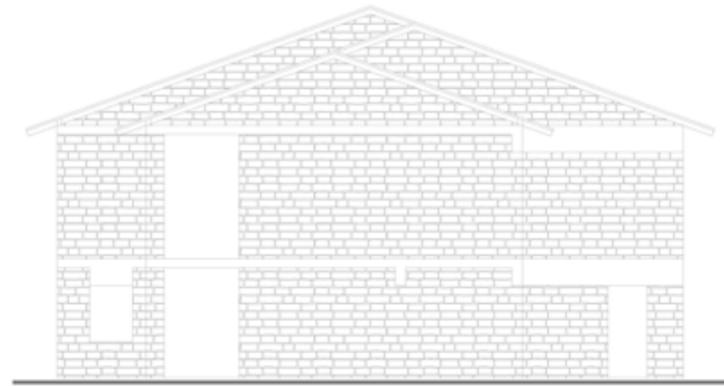
Pianta primo piano



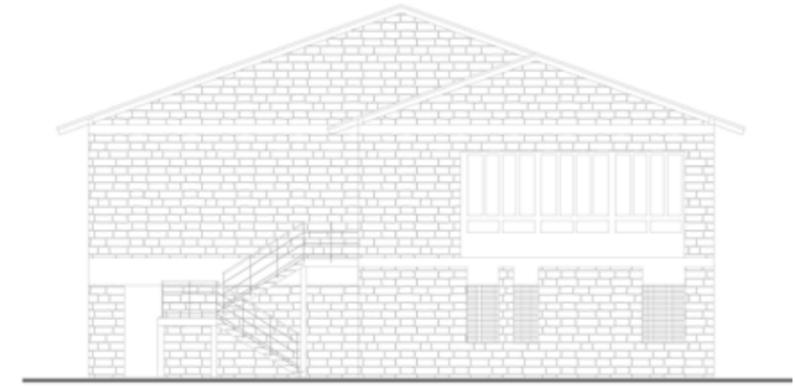
Sezione longitudinale



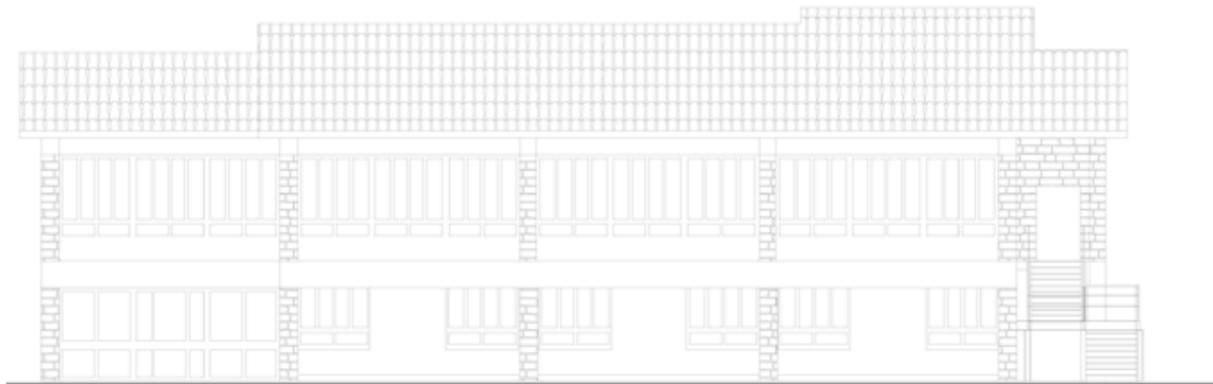
Sezione trasversale



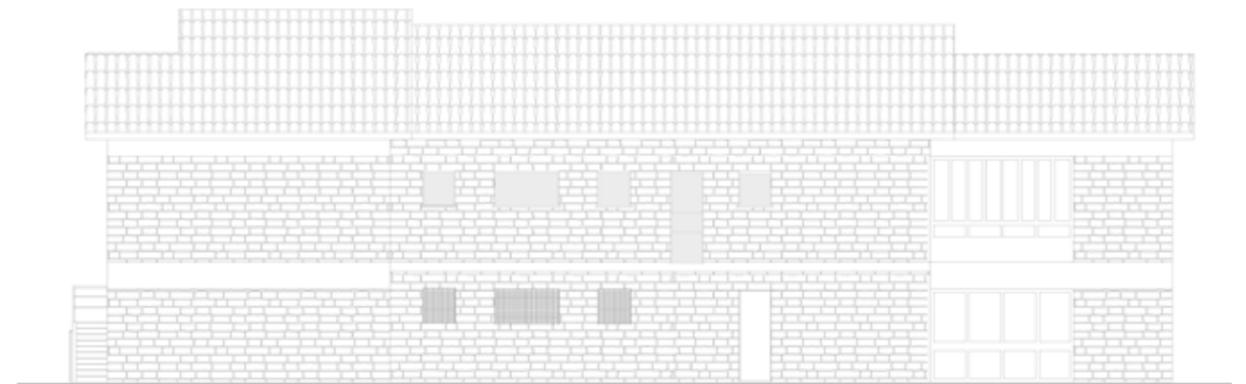
Prospetto ovest



Prospetto est



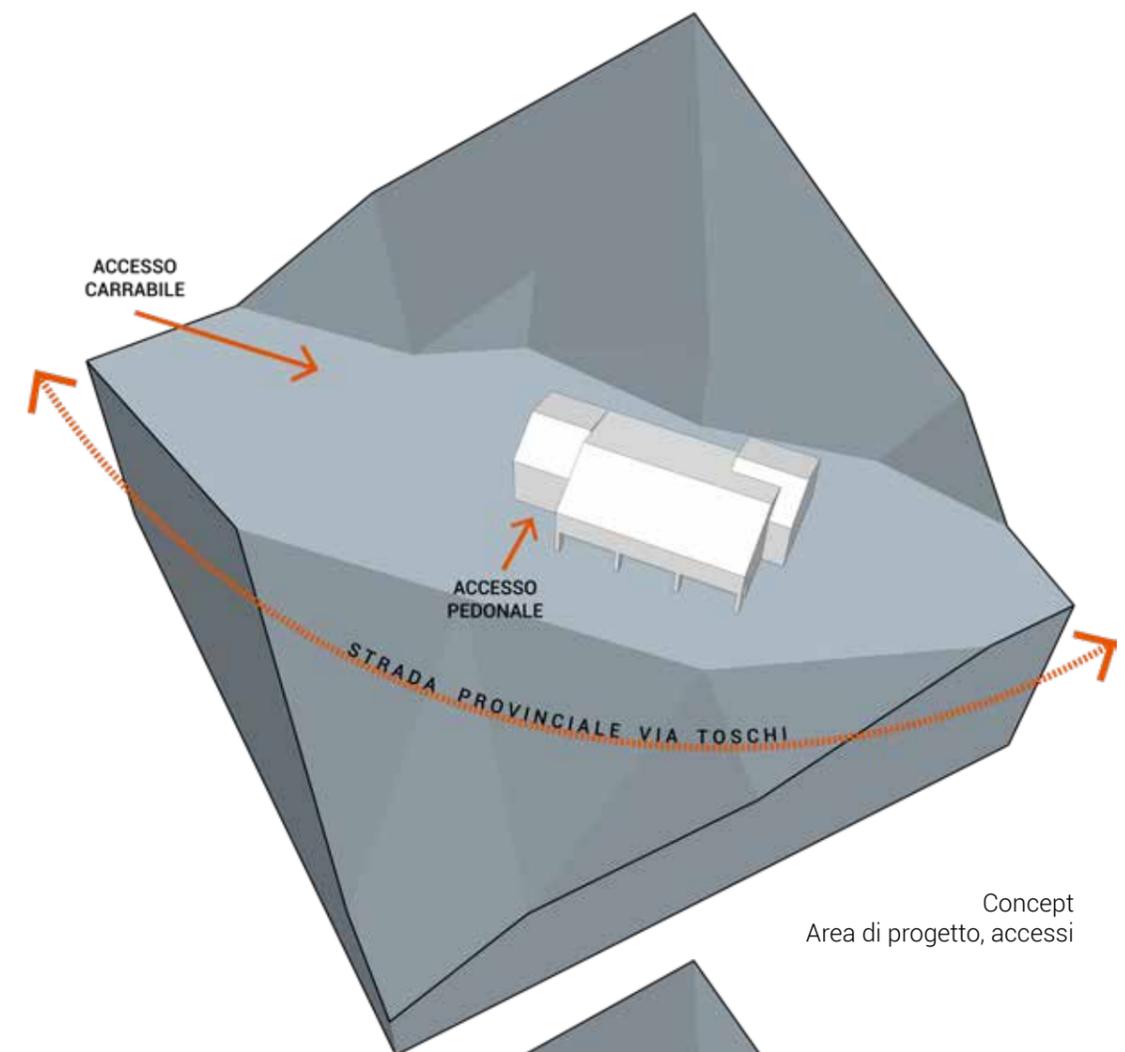
Prospetto sud



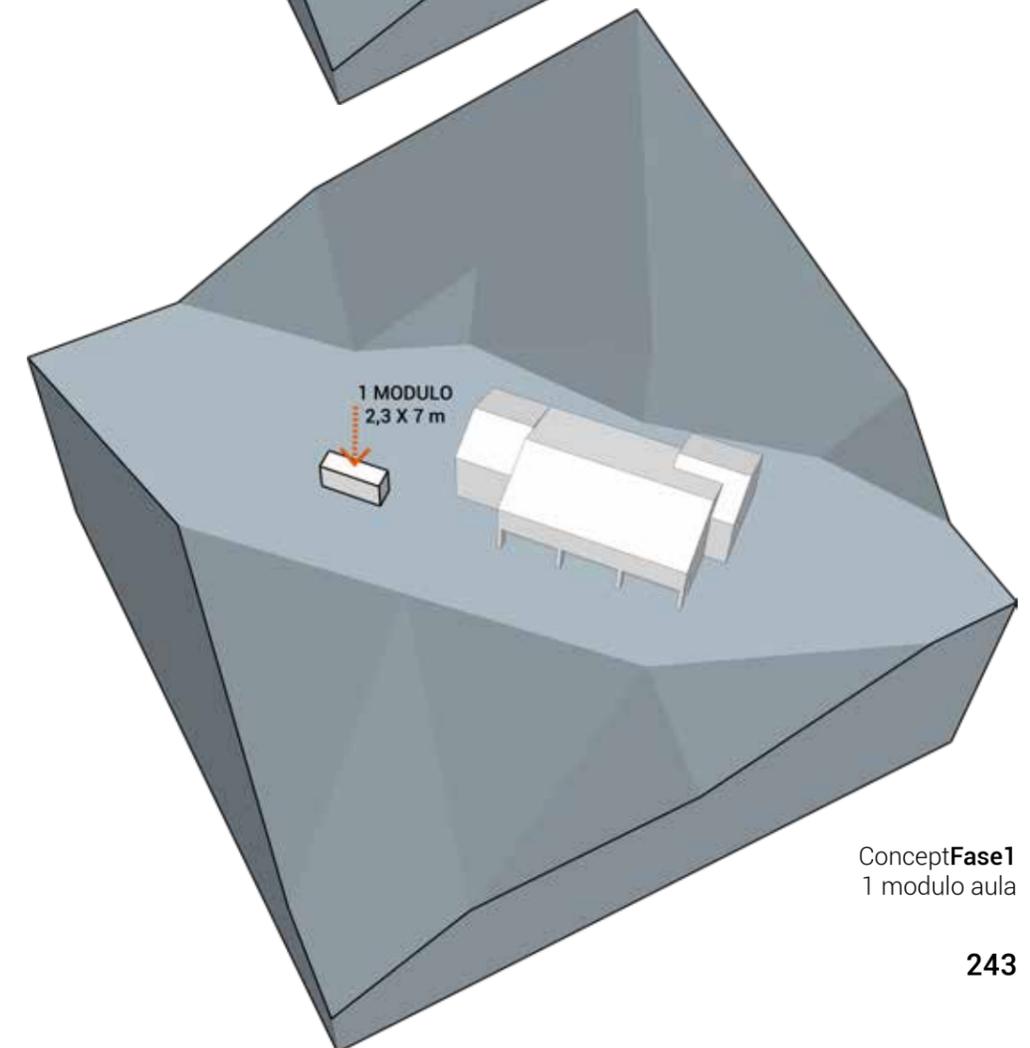
Prospetto nord

Concept di Progetto

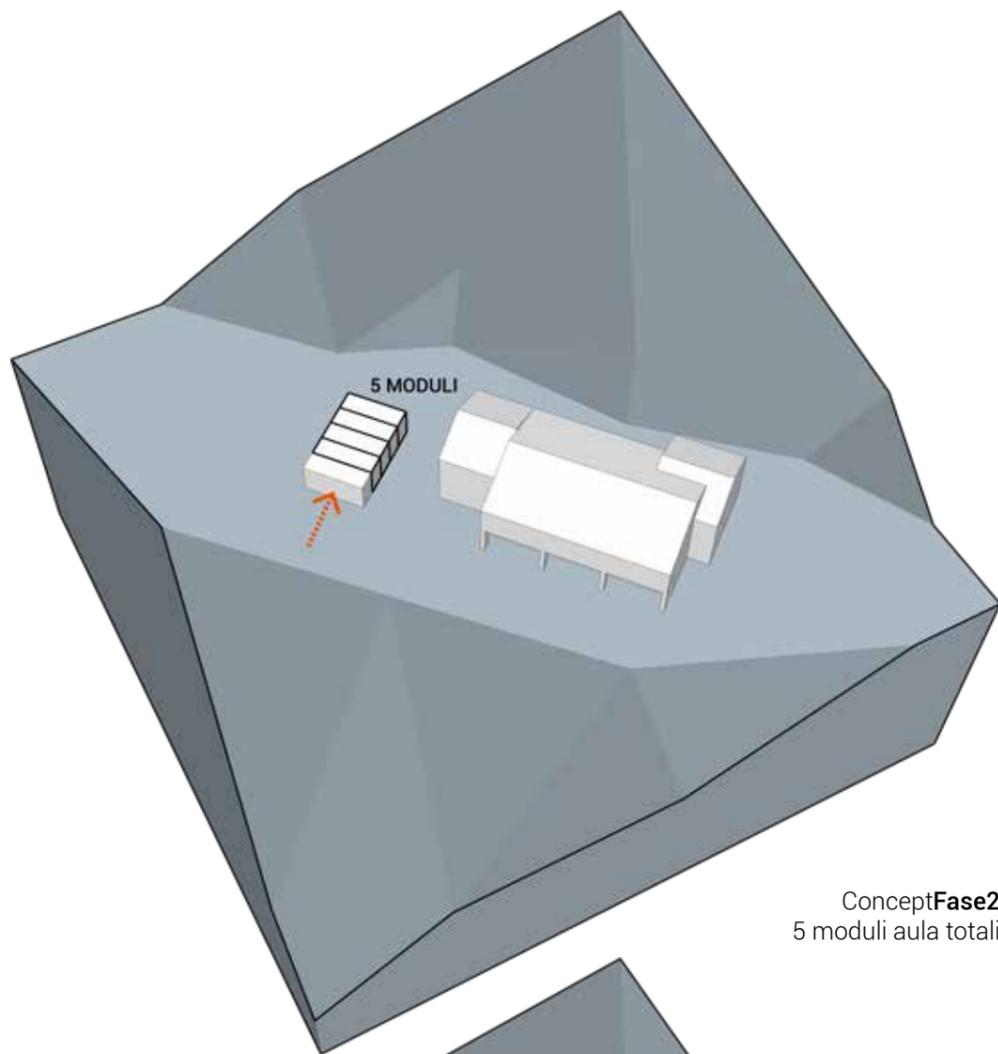
Gli interventi richiesti per la scuola media Toschi di Baiso prevedono un miglioramento sismico della struttura esistente, un miglioramento funzionale dell'atrio e un ampliamento sul fronte ovest da adibirsi a sala civica / sala polivalente. Il progetto prevede la realizzazione di uno spazio di pertinenza della scuola, ma che fosse provvisto di un accesso indipendente in modo da poter essere utilizzato anche in orari extra scolastici, senza aver necessità di aprire la scuola. Per tale ragione lo spazio è completo di servizi igienici. Il complesso, costituito da cinque moduli aula, viene posto distaccato dalla struttura esistente andando a creare un vuoto tra due piani. Questo vuoto è un giardino coperto che all'evenienza può diventare un proseguio dello spazio dell'aula polivalente aprendo le grandi vetrate poste sul lato est dell'ampliamento. Si tratta di uno spazio dai molteplici usi, giardino per la ricreazione, ampliamento nell'ampliamento e spazio coperto all'aperto.



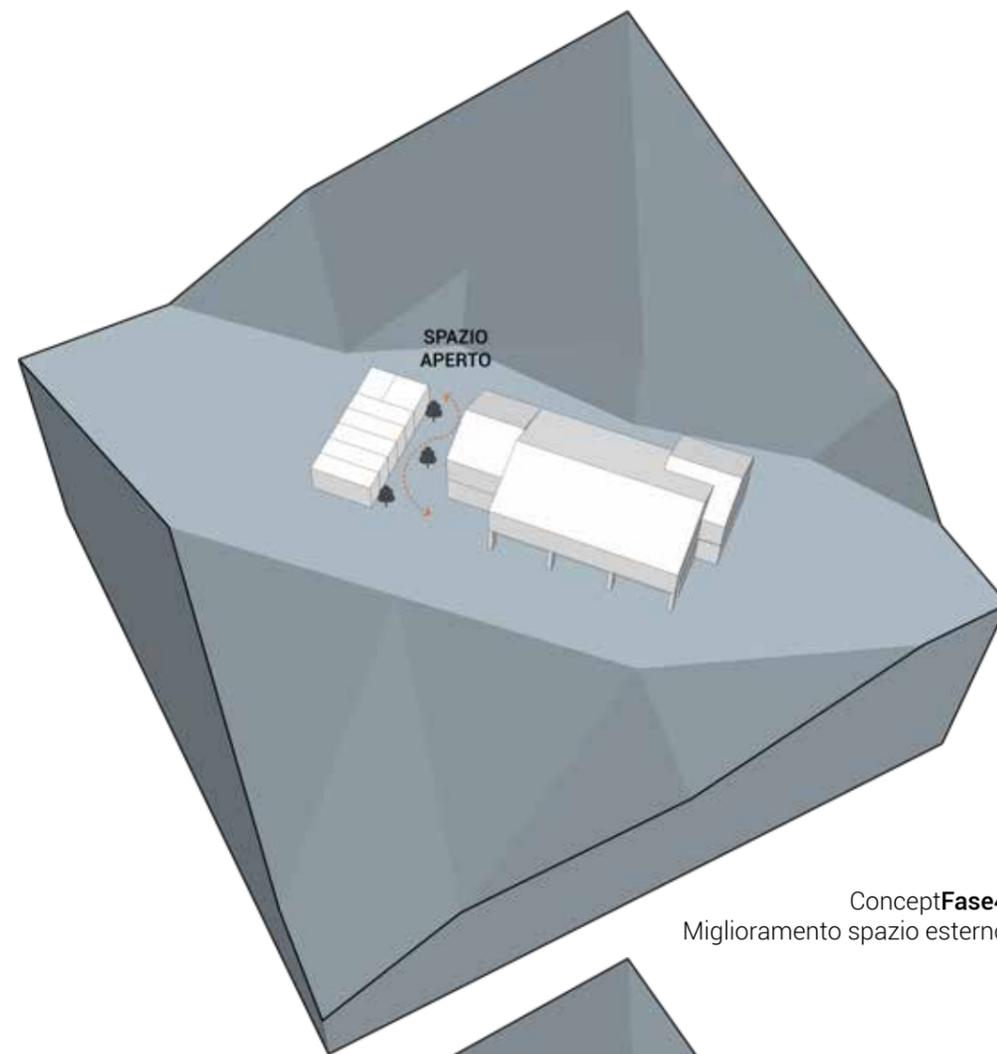
Concept
Area di progetto, accessi



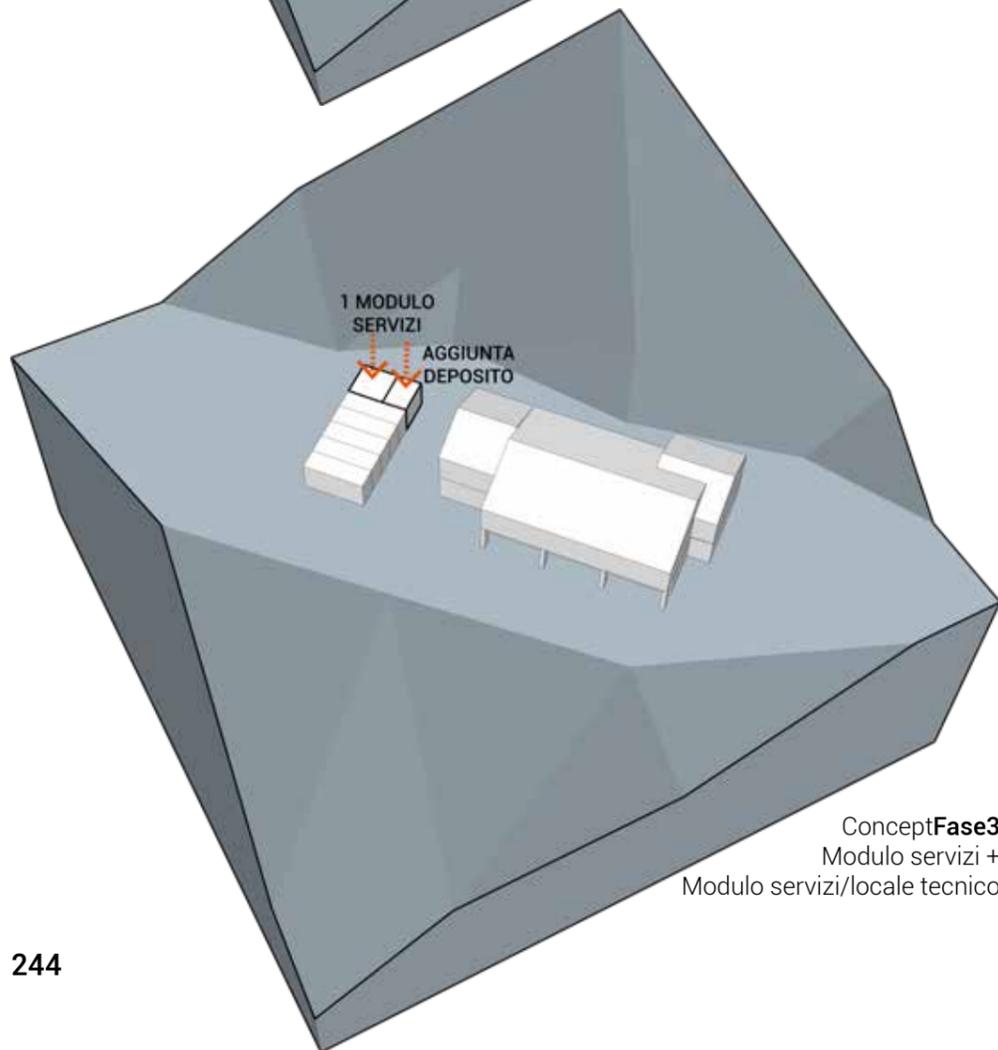
Concept Fase 1
1 modulo aula



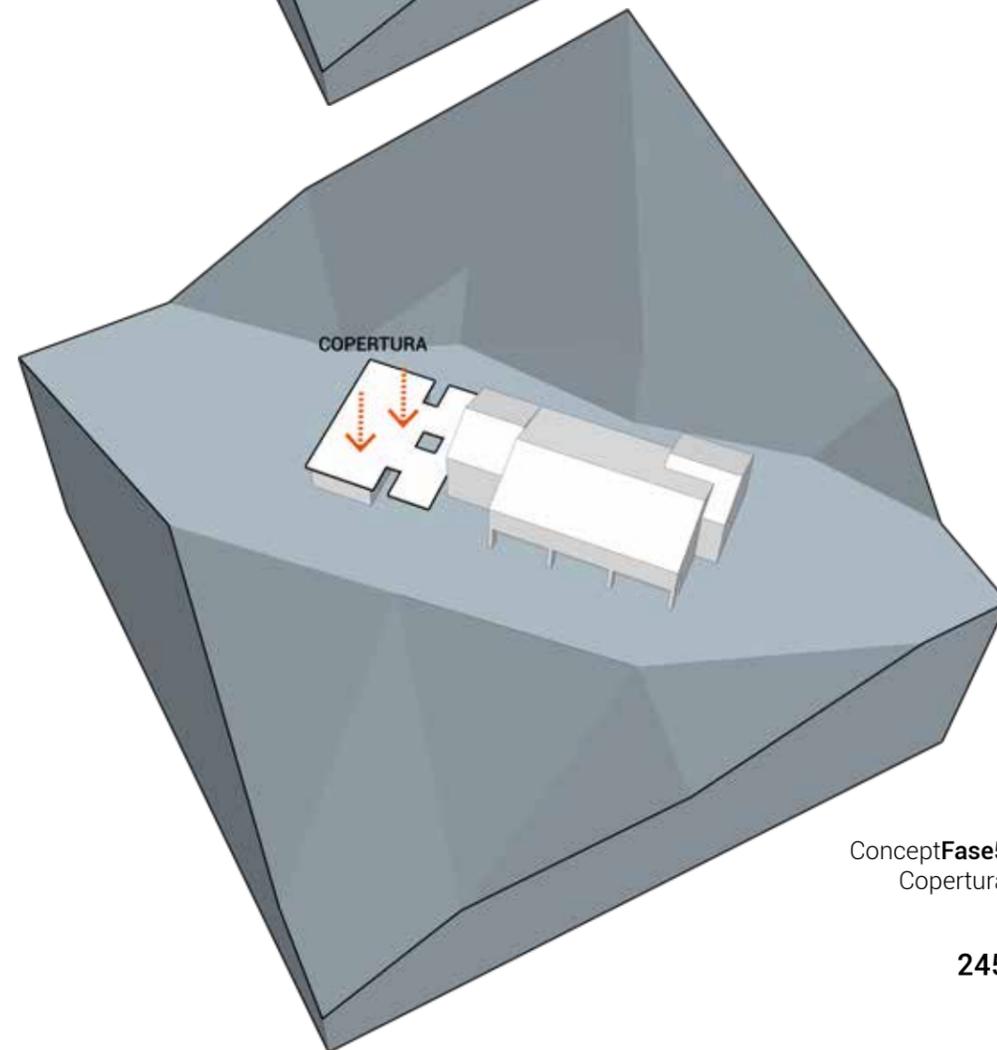
ConceptFase2
5 moduli aula totali



ConceptFase4
Miglioramento spazio esterno



ConceptFase3
Modulo servizi +
Modulo servizi/locale tecnico

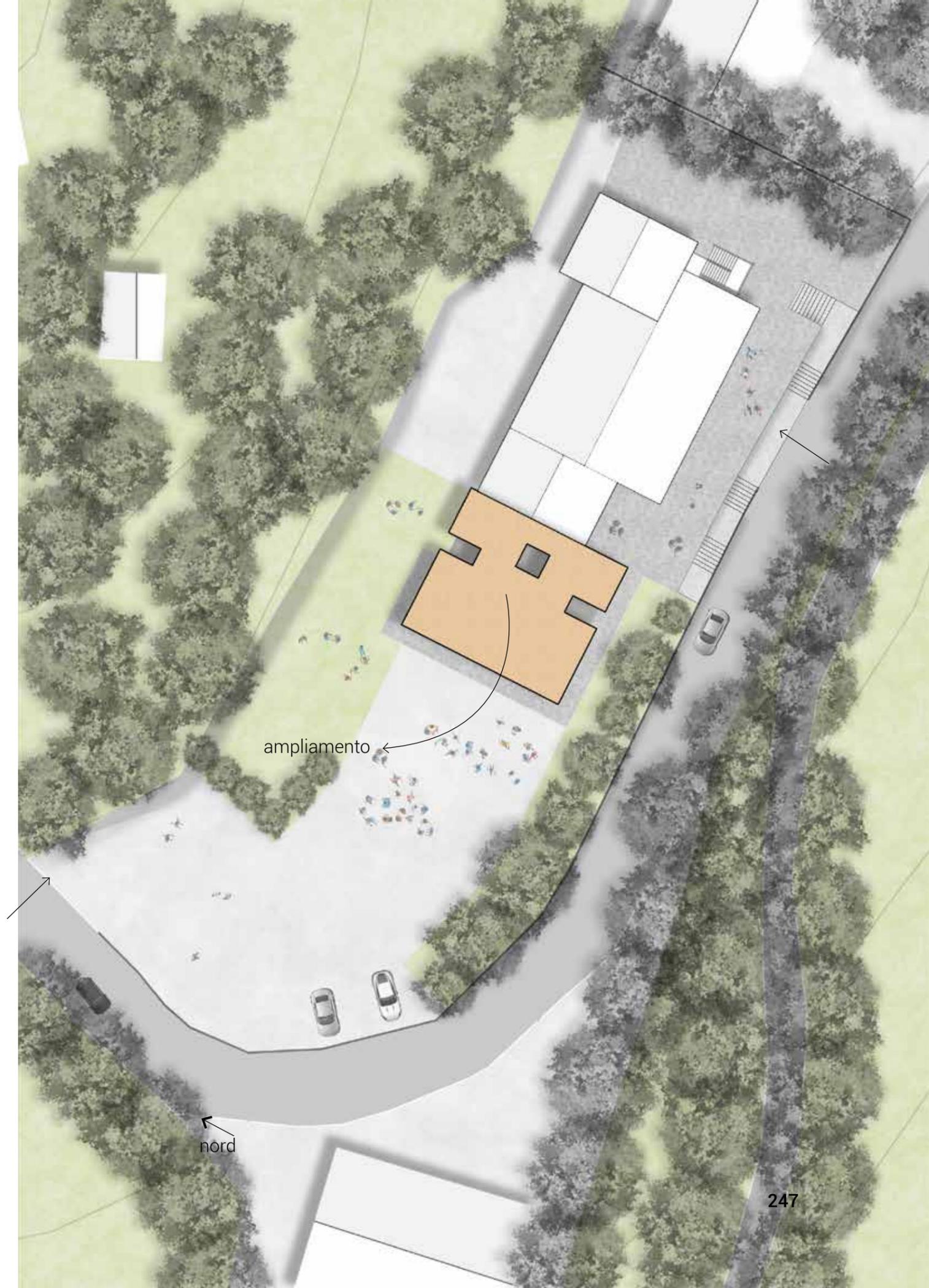


ConceptFase5
Copertura

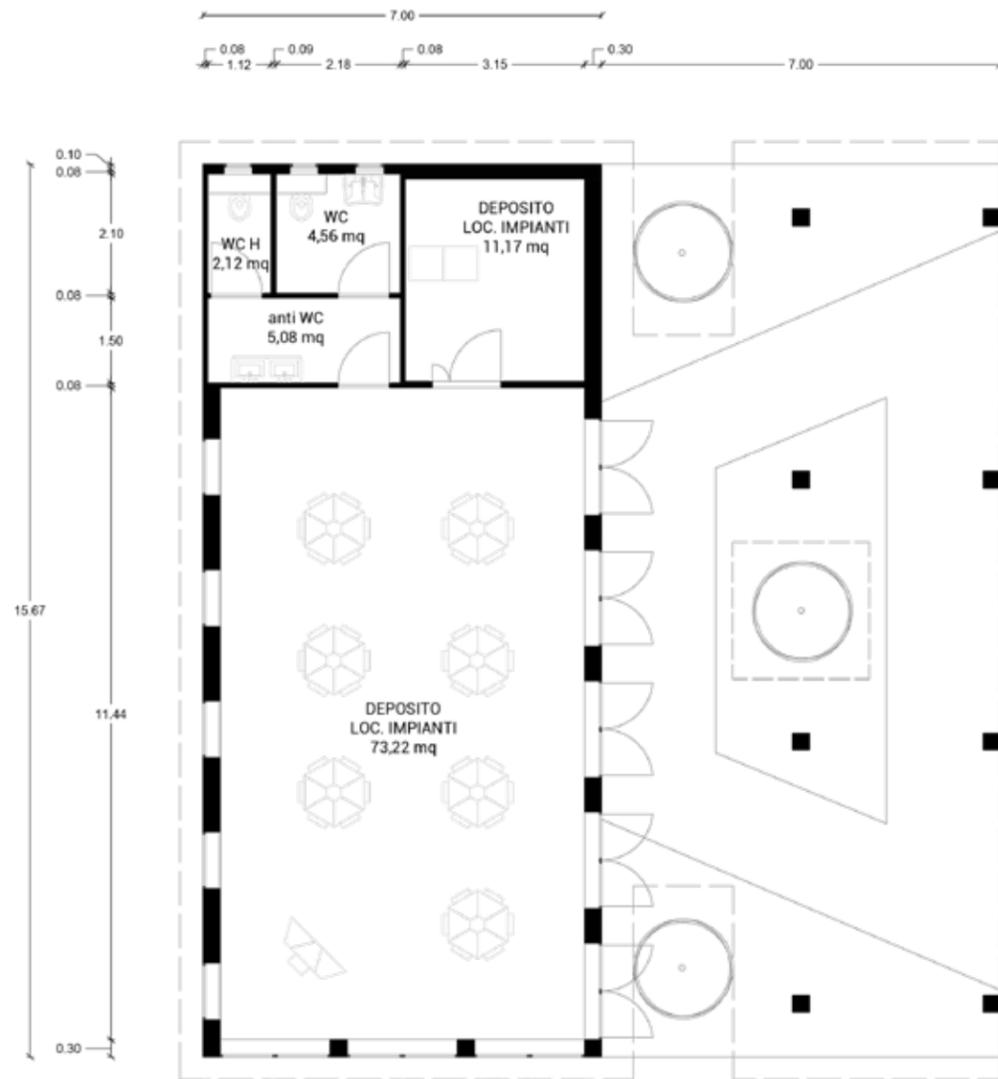
Masterplan

L'ampliamento si pone ad ovest del complesso scolastico esistente. Gli accessi all'area rimangono invariati, uno carrabile ad ovest ed uno pedonale a sud. Viene mantenuta la pavimentazione esistente intorno alla scuola e viene riproposta in continuo andando ad accerchiare il nuovo edificio. Vengono progettate due nuove aree verdi, una a nord tra la scuola e la scarpata rocciosa ed una a sud. Lo spazio coperto tra l'ampliamento e la scuola esistente funge da piazza coperta e nei due lati aperti è circondata da verde. La nuova aula polivalente è stata pensata come un corpo autonomo, infatti comprende servizi e un accesso indipendente, ma allo stesso tempo collegato alla scuola con un filtro costituito dallo spazio aperto/coperto.

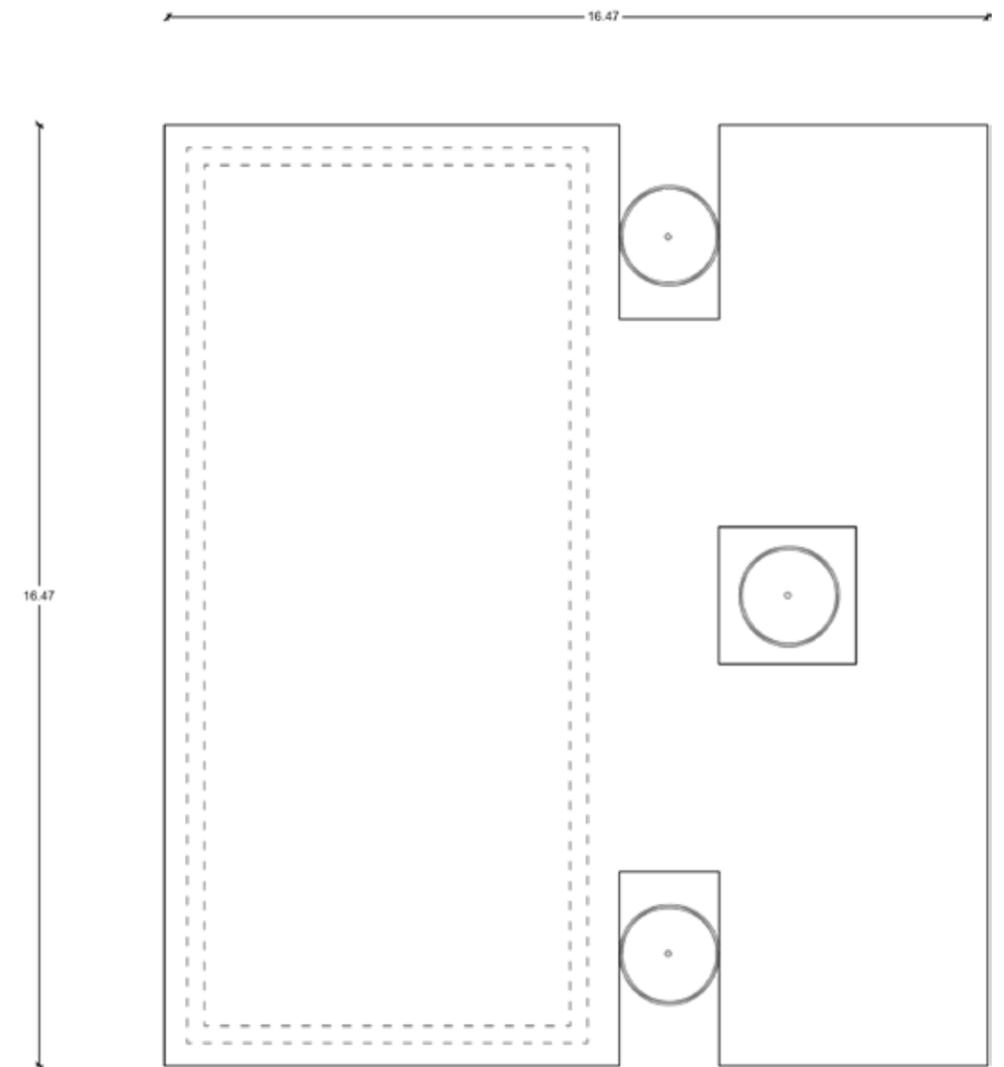
A fianco: masterplan di progetto



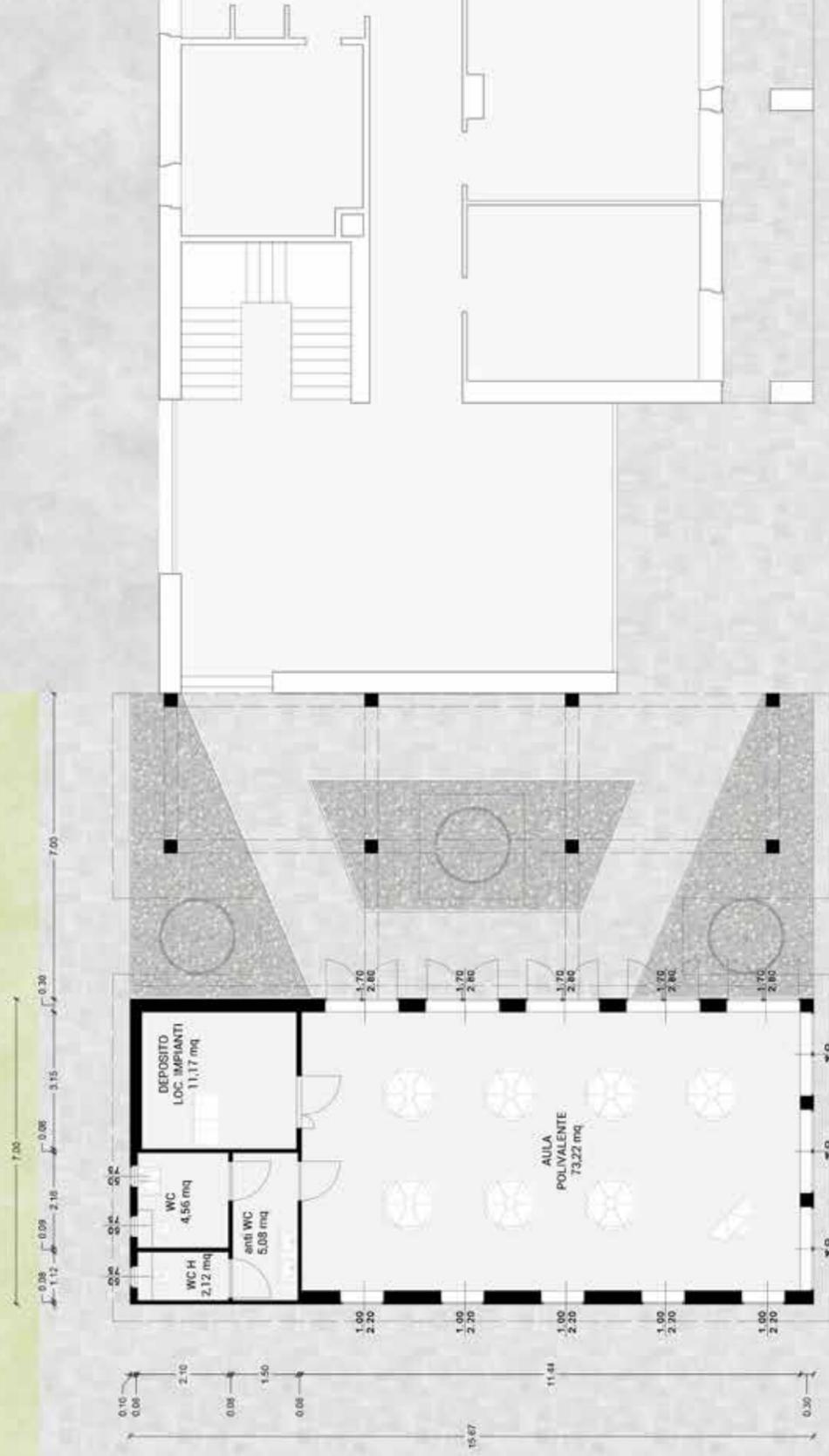
StatodiProgetto



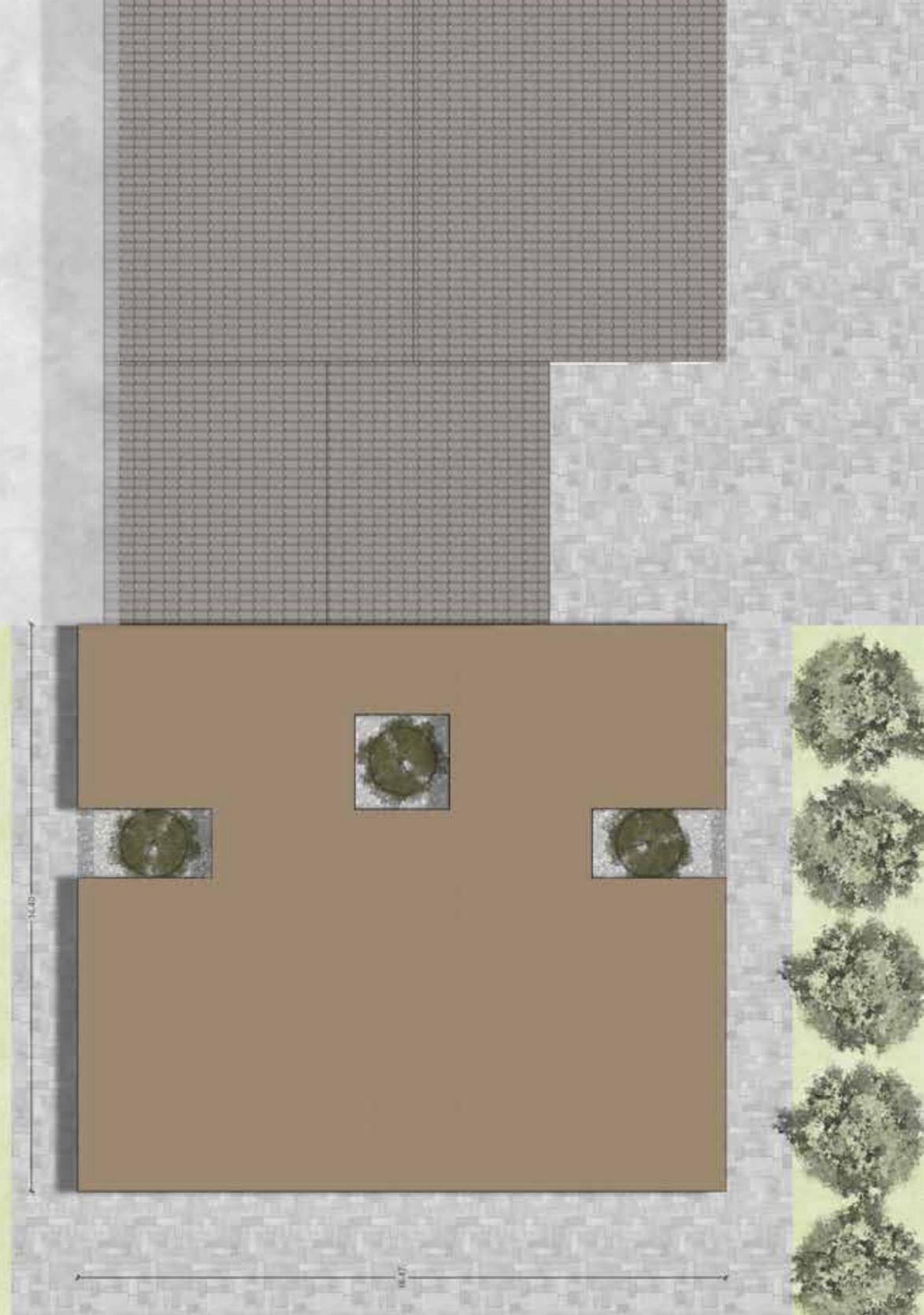
Pianta piano terra



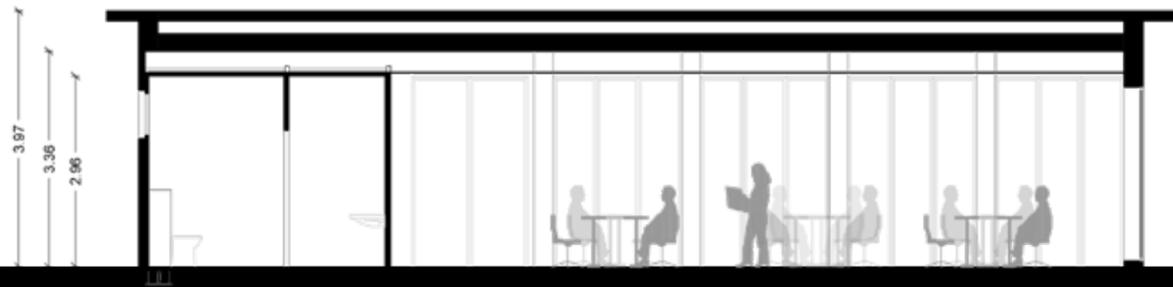
Pianta copertura



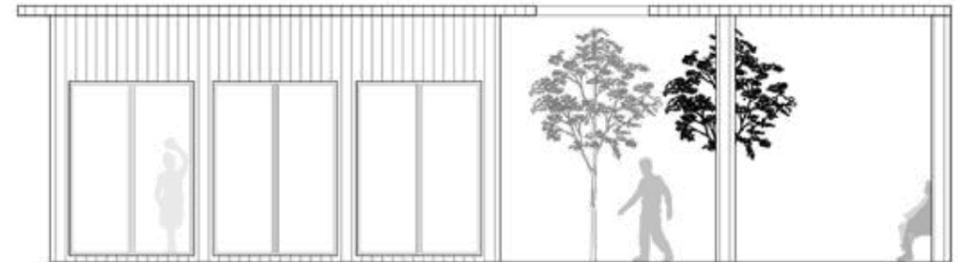
Pianta piano terra con contesto



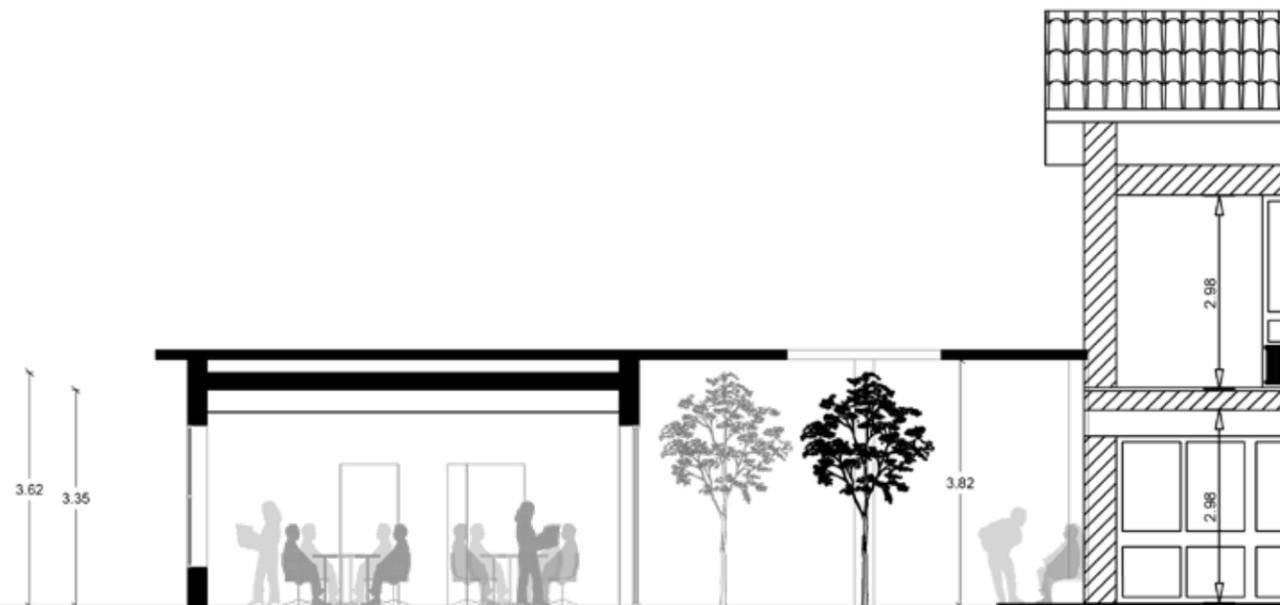
Pianta copertura con contesto



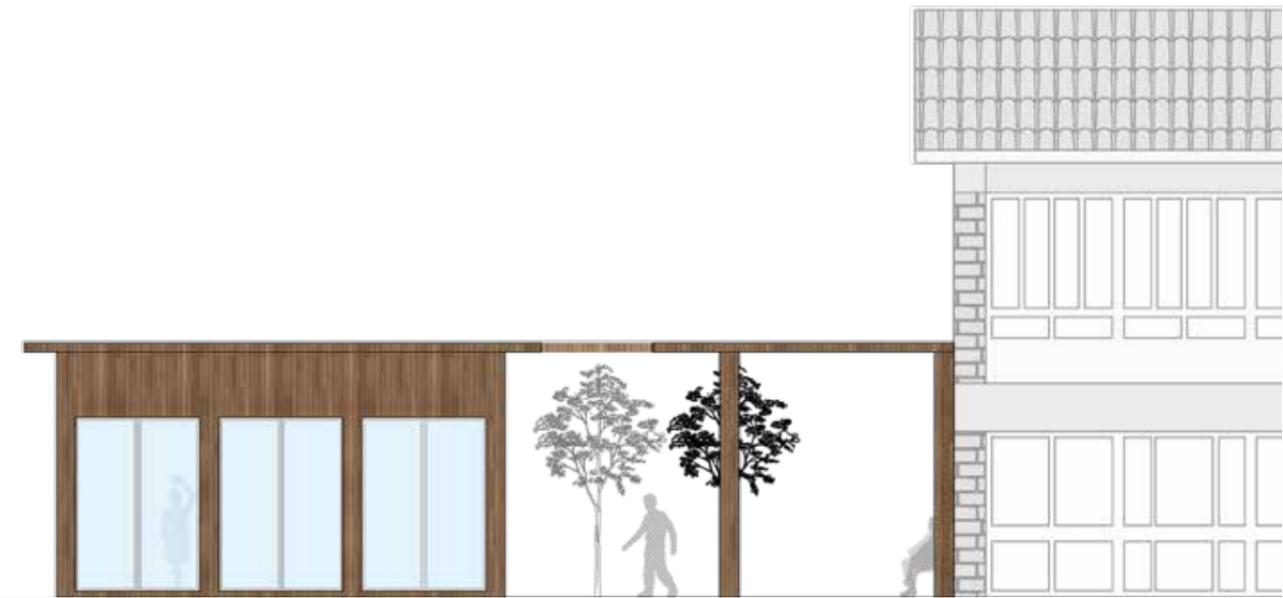
Sezione longitudinale



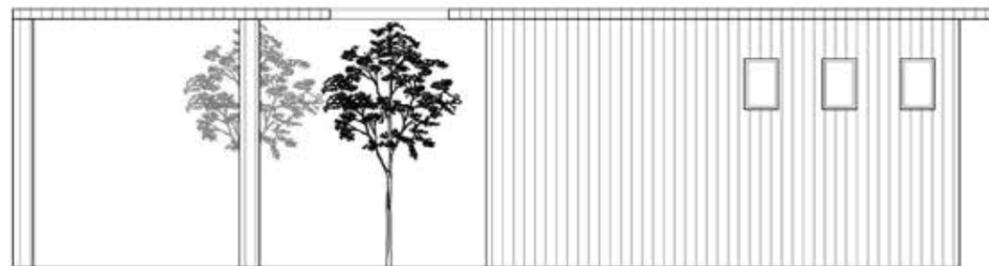
Prospetto sud



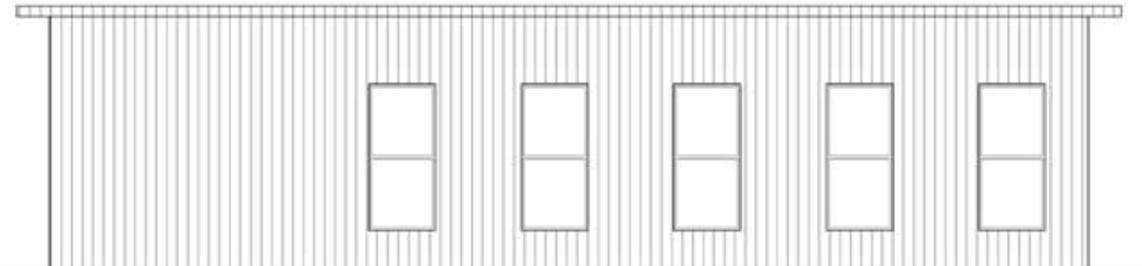
Sezione trasversale



Prospetto sud



Prospetto nord



Prospetto ovest



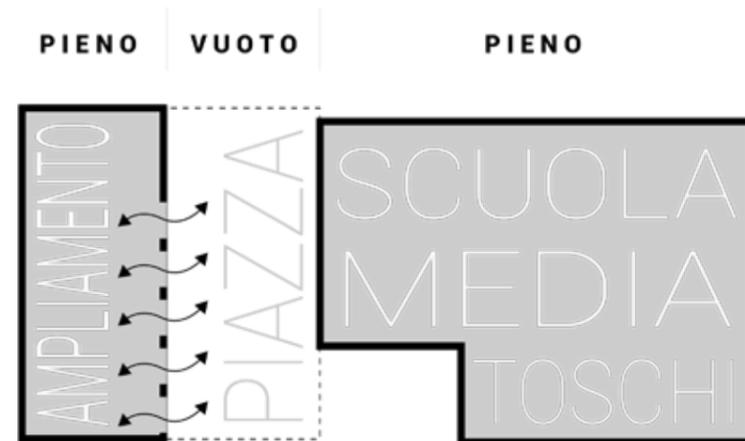
Prospetto nord



Prospetto ovest

Piazza

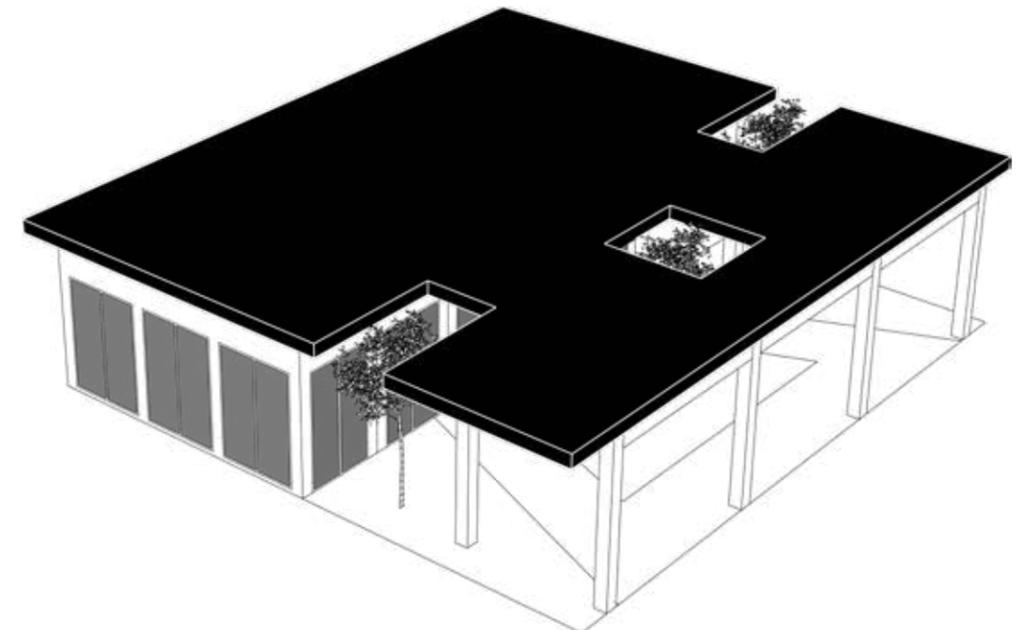
La nuova sala polivalente viene posta in linea con la struttura esistente distaccata andando a creare in alternanza pieni e vuoti. Questo ritmo crea una piazza tra le due strutture che funge da luogo di ritrovo coperto e da portico di accesso all'ampliamento. La composizione della sala polivalente, in particolare le grandi vetrate presenti sul lato est, consentono, una volta aperte, di fondere lo spazio chiuso con lo spazio aperto organizzando un unico grande ambiente. Questo può essere utilizzato nelle stagioni calde per svolgere lezioni all'aperto o come "ampliamento dell'ampliamento" per attività extra scolastiche come feste o riunioni comunali.



Schema concettuale pieni e vuoti

Copertura

Per rendere la piazza coperta e utilizzabile a prescindere delle condizioni atmosferiche è stata progettata una grande copertura di legno che copre anche i moduli che costituiscono la sala polivalente. A sostegno della copertura sono stati disposti dei pilastri di legno di dimensioni 30 x 30 centimetri. La copertura prevede inoltre tre bucaure in prossimità di dove saranno piantumati tre alberi.



Copertura



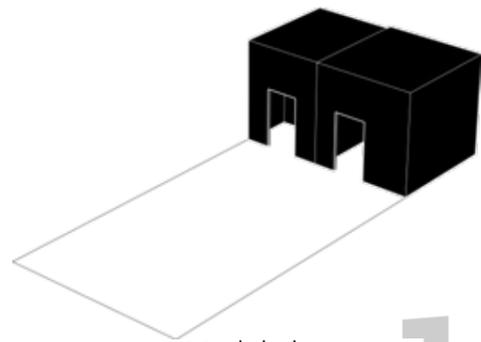


ProcessodiRealizzazione

Il metodo di costruzione off-site permette di ridurre le lavorazioni di cantiere che per questo ampliamento prevedono:

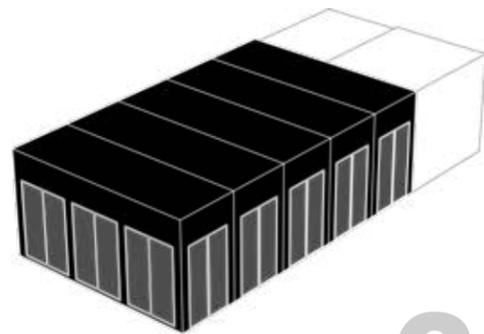
- posa dei moduli finiti
- allacciamento agli impianti idraulico ed elettrico
- realizzazione della piazza, posa dei pilastri e della copertura
- rivestimento di facciata





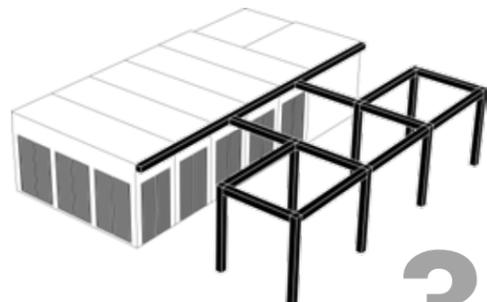
Modulo bagno
Locale tecnico

1



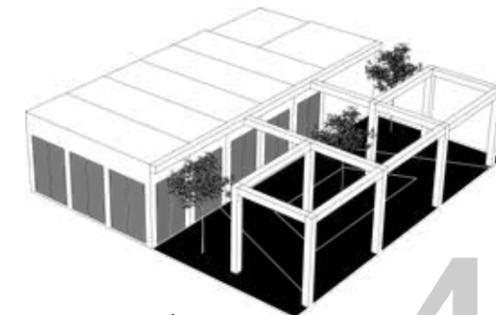
Moduli aula

2



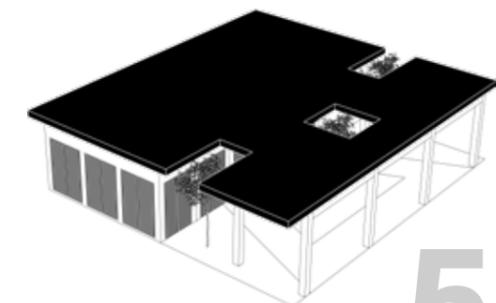
Travi e pilastri

3



Piazza coperta

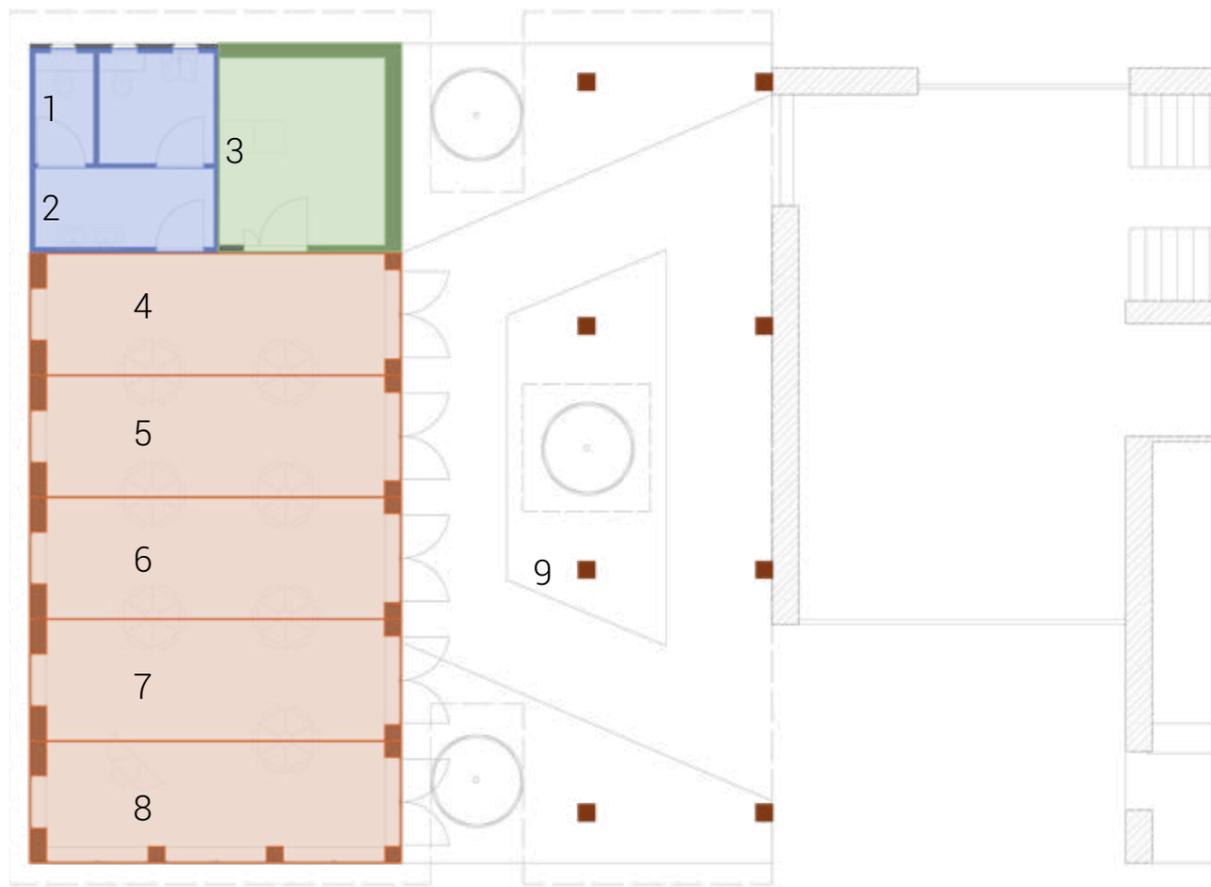
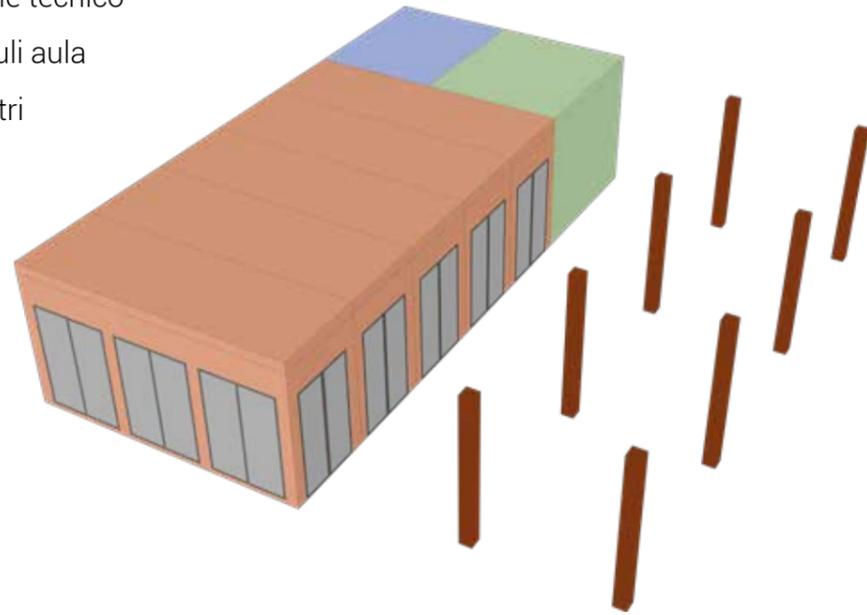
4



Copertura e
impermeabilizzazione

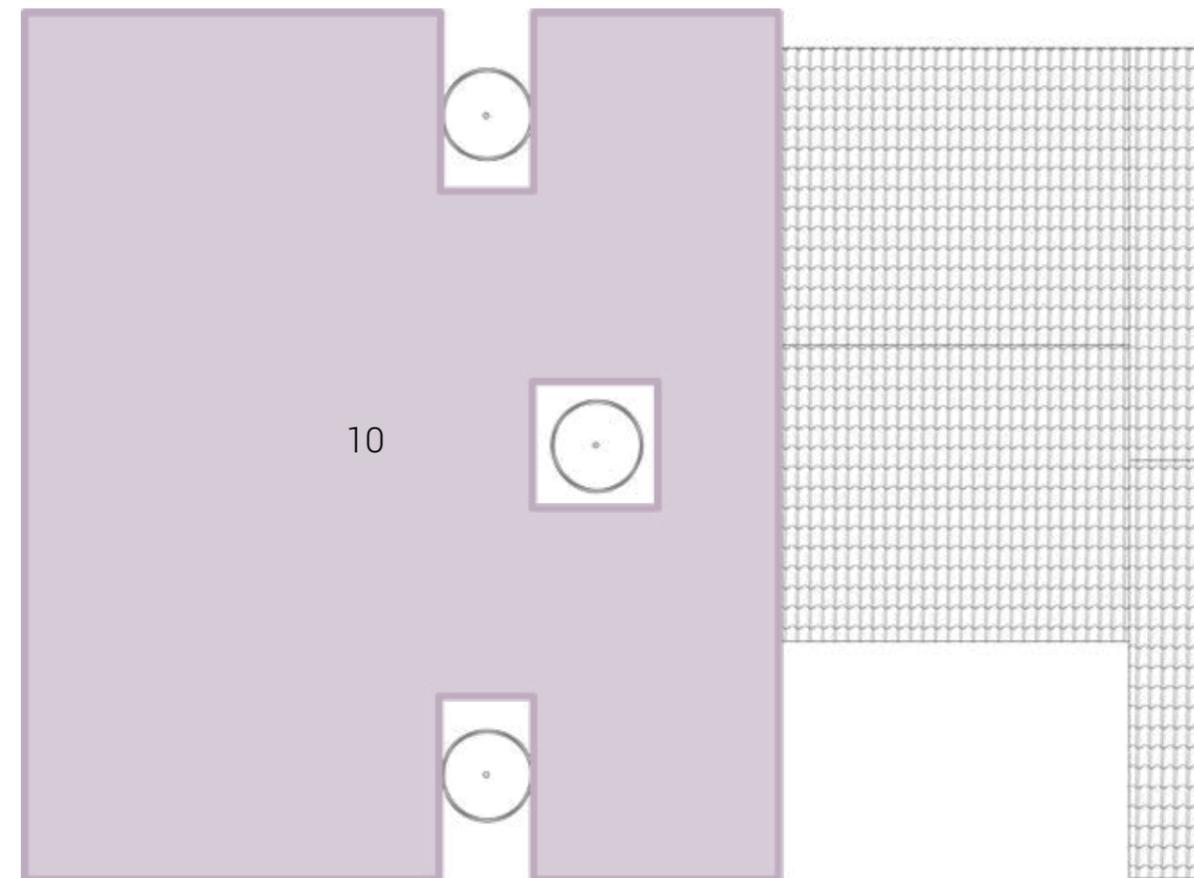
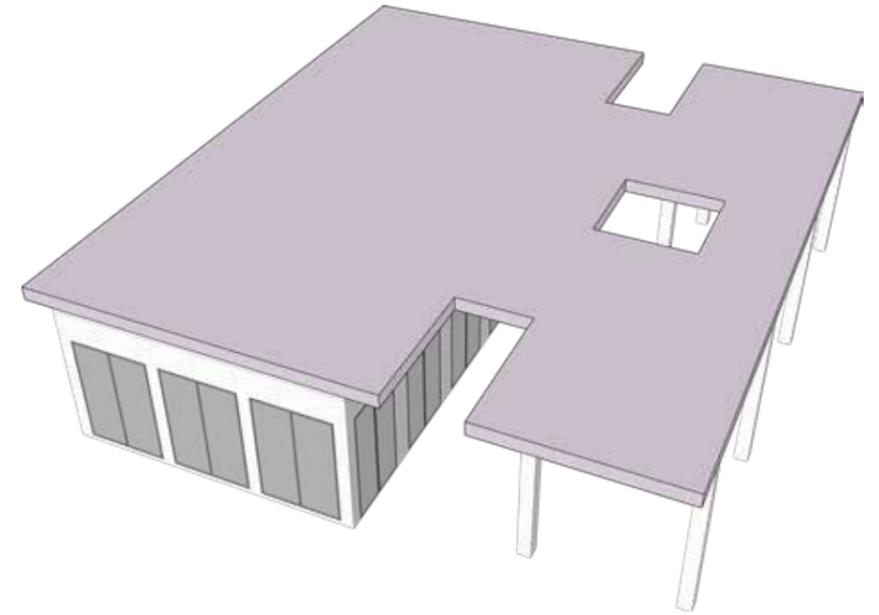
5

- Modulo bagno
- Locale tecnico
- Moduli aula
- Pilastri



Pianta piano terra, ordine di posa dei moduli bagno, tecnico, aula e pilastri

- Copertura



Pianta copertura, posa della copertura

CONCLUSIONI

Dalle analisi svolte sul patrimonio scolastico è emerso che le scuole italiane sono per la maggior parte vecchie e con problemi strutturali. Quasi la metà degli edifici scolastici sono stati costruiti prima dell'entrata in vigore della prima normativa antisismica e sono circa 30.400 gli edifici senza adeguamento sismico ad oggi. Ne deriva, contando anche le calamità che negli ultimi decenni hanno colpito la penisola, che molte strutture necessitano di manutenzione, sia straordinaria che ordinaria. Gli interventi da effettuare sulle scuole non riguardano solo problemi strutturali, bensì anche di sostenibilità. Ben un edificio su due è in classe energetica G e rendere le scuole sostenibili permette di arrivare a risparmi sulla gestione ordinaria delle strutture del 40%.

L'età media degli edifici scolastici italiani è superiore ai cinquant'anni, questo dato fa riflettere anche sulla conformazione degli spazi e della tipologia di arredi utilizzati. Da decenni ormai si parla del rapporto tra pedagogia e ambiente di apprendimento ed è emerso in diversi testi analizzati che il modello unicamente trasmissivo usato in passato non è adatto per una formazione completa dello studente. In passato le scuole sono state progettate sulla base di questa unica tipologia di modello didattico, che richiedeva solo spazi organizzati con una serie di file di banchi, una cattedra e la lavagna. Una molteplicità di metodi richiede però diverse dinamiche ed è emerso come sia importante organizzare lo spazio sulla base della attività che si deve svolgere, non il contrario. È necessario quindi attrezzare le aule con arredi flessibili, che possano attraverso configurazioni diverse permettere di svolgere attività diverse, come il lavoro di gruppo, la verifica, le presentazioni di progetti e via dicendo. È emerso anche che lo spazio scolastico è sempre stato inteso come spazio unicamente di studio e vissuto solo nelle ore scolastiche. Per offrire agli studenti una formazione completa è necessario fornirgli un luogo dove possano sentirsi a loro agio anche per l'apprendimento individuale e per attività informali. La soluzione è progettare uno spazio pensandolo in principio come luogo da vivere e non come luogo unicamente di studio.

Le scuole hanno bisogno di interventi di manutenzione, messa in sicurezza, ammodernamento e di essere rese sostenibili. Per farlo è necessario considerare l'esigenza di avere dello spazio dove spostare gli studenti per la durata della manutenzione sulla struttura principale. La necessità di avere "spazio extra" può essere improvvisa, nel caso ad esempio di calamità, o più ponderata, nel caso di un numero di iscritti maggiore rispetto agli anni precedenti. In ogni caso, quando si parla di scuole dell'obbligo, la risposta deve avvenire in modo rapido, per evitare di perdere giorni di scuola e rimanere indietro con il programma.

L'obiettivo di questa tesi è progettare un ampliamento, temporaneo o permanente, per edifici scolastici che sia semplice, sostenibile, rapido da realizzare e che possa essere usato come modello per altri possibili ampliamenti. Costruire ex novo edifici scolastici non risulta essere sostenibile in quanto stime stilate dall'ISTAT prevedono un forte calo della popolazione nei prossimi 10 anni, inoltre costruire nuovi edifici non è sostenibile considerando la quantità di strutture scolastiche presenti sul territorio nazionale che necessitano soltanto di manutenzione o riconversione.

La scelta della tipologia è ricaduta sulla costruzione modulare off-site. Questa tecnica risulta adatta per la realizzazione di ampliamenti scolastici in quanto le scuole sono costituite principalmente da spazi ripetibili, standardizzabili. La costruzione off-site offre diversi vantaggi rispetto al quella di tipo in-site, ovvero la realizzazione diretta sul cantiere. Tra questi certamente la velocità di costruzione, che in cantiere prevede la sola collocazione dei moduli e poche altre attività, come l'allaccio agli impianti idraulico ed elettrico. Ridurre al minimo le attività di cantiere diminuisce anche di conseguenza la quantità di operatori specializzati che dovrebbero trovarsi a lavorare in simultanea. La costruzione in fabbrica con una corretta progettazione preliminare permette di ottenere delle cellule complete, che non necessitano di lavorazioni se non piccole finiture una volta arrivate in sito; ne consegue quindi un risparmio sui costi di produzione e di lavorazione. Minori costi sono anche dati dal ritorno

rapido sugli investimenti vista la velocità di realizzazione. Meno lavorazioni in cantiere producono anche meno rifiuti da costruzione e demolizione, che attualmente producono il 40% di emissioni di CO2 nell'ambiente, e quindi meno inquinamento. La tecnica della prefabbricazione permette controlli sulla produzione tali da ridurre al minimo gli errori di esecuzione e la standardizzazione degli elementi va ad aumentarne ancora di più la precisione.

L'analisi di diversi casi studio in ambito scolastico per costruzioni prefabbricate e tecnica di costruzione off-site ha dimostrato come in passato la scelta di costruire edifici provvisori per la realizzazione di scuole, ospedali e altri edifici sia stata utile per le attività di densificazione urbana, soprattutto in mancanza di soldi e tempo. Questa scelta risulta ottima anche attualmente, vista l'imprevedibilità degli eventi degli ultimi decenni e tenendo conto del forte problema di consumo del suolo con cui dobbiamo fare i conti oggi. La particolarità degli edifici prefabbricati e standardizzati è che possono essere smontati e collocati in altri posti all'esigenza, senza consumo di materiale e quindi adatti per la realizzazione di ampliamenti provvisori per le scuole.

Le scuole, costituite da spazi ripetibili e simili tra loro, si offrono perfettamente alla progettazione modulare. La quantità di tipologie di moduli può essere ridotta a sole due: un modulo per la realizzazione delle aule e uno per i servizi igienici, assieme ad altre possibili strutture prefabbricate a seconda della richiesta. Il materiale che meglio si presta a ideali sostenibili è il legno, ragion per cui si è scelto di utilizzare il CLT, Cross Laminated Timber, per la realizzazione dei moduli. Inoltre il mercato attuale, in espansione, offre una vasta scelta di aziende specializzate nella costruzione prefabbricata in legno. L'azienda finlandese STORA ENSO è specializzata nella produzione di elementi prefabbricati in legno e offre strumenti al progettista utili per il calcolo strutturale e la progettazione. La risorsa open source che offre l'azienda, Calculatis, è stata utilizzata per verifiche a supporto della progettazione dei moduli. Per i moduli dedicati ai servizi sono state scelte invece delle cellule bagno prefabbricate costituite da una struttura di guide e montanti di legno,

presenti già in diverse tipologie sul mercato.

Ci sono diverse tipologie di interventi richiesti dalle scuole italiane ed essi si inseriscono all'interno di una programmazione nazionale che li divide per province. A seconda della tipologia essi possono essere realizzati attingendo a specifici fondi statali dedicati. Al primo posto come richiesta vi sono interventi di miglioramento e adeguamento sismico, a seguire richieste di nuove costruzioni, nuove costruzioni in sostituzione o ampliamenti. Tutte queste richieste richiedono nuovo spazio a supporto della struttura esistente, che sia temporaneo o permanente. Sono state scelte due scuole medie che tramite bando di gara richiedevano ampliamenti. In un caso, la scuola media Anna Frank di Castelvetro di Modena, la richiesta era quella di un ampliamento composto da quattro aule e i relativi servizi. È stato progettato un ampliamento su due piani, con due aule didattiche, servizi e uno spazio per lo studio individuale su ogni piano. La struttura è stata posta in aderenza alla scuola esistente e si sono collegati gli accessi tra i due edifici per mezzo di una scala autoportante in acciaio.

La seconda scuola presa come caso studio è la scuola media Toschi di Baiso, a Reggio Emilia. Differentemente dal precedente, la richiesta non era di un semplice ampliamento di aule, bensì di un'aula polivalente da poter essere utilizzata anche dal territorio comunale come sala civica. I moduli qui vengono ripetuti fino ad ottenere un grande spazio posto a fianco di una piazza coperta affianco alla struttura esistente. L'accesso indipendente e i servizi all'interno dell'ampliamento consentono un utilizzo ventiquattr'ore su ventiquattro dello spazio, senza il bisogno di aprire effettivamente la scuola. In questo modo la struttura può essere utilizzata e fruita appieno, per il massimo del tempo.

BIBLIOGRAFIA E NORMATIVA DI RIFERIMENTO

1. Ecosistema Scuola, XIX Rapporto di Legambiente sulla qualità dell'edilizia scolastica, delle strutture e dei servizi, Legambiente Onlus, Roma, 2018
2. Fondazione Agnelli, Rapporto sull'edilizia scolastica, Editori Laterza, Torino, 2016
3. Rapporto Ecosistema Scuola, Legambiente Onlus, Roma, 2019
4. Piano Scuola 2020-2021, Documento per la pianificazione delle attività scolastiche, educative e formative in tutte le Istituzioni del Sistema nazionale di Istruzione, MIUR, Roma, 2019
5. Istat: www.istat.it/it/archivio/scuola
6. BANNISTER D., *Linee guida per il ripensamento e l'adattamento degli ambienti di apprendimento*, INDIRE, European schoolnet, Bruxelles, 2018
7. BORRI S., *Spazi educativi e architetture scolastiche: linee e indirizzi internazionali*, INDIRE, Firenze, 2016
8. PIGNATTARO P.V., *La pedagogia relazionale di Loris Malaguzzi*, Padova, 2014
9. Programmazione Triennale Nazionale unica per gli interventi di edilizia scolastica, triennio 2018-2020, Regione Emilia Romagna
10. D.I. 23 gennaio 2015, Modalità e termini per il versamento dell'imposta sul valore aggiunto da parte delle pubbliche amministrazioni
11. D.L. 104/2013, Misure urgenti in materia di istruzione, università e ricerca
12. D.I. 3 gennaio 2018, Programmazione nazionale in materia di edilizia scolastica per il triennio 2018-2020
13. D.M. 10 dicembre 2018, (Rettifica della Programmazione unica nazionale 2018-2020 in materia di edilizia scolastica)
14. D.L. 179/2012, Ulteriori misure urgenti per la crescita del Paese
15. L. 107/2015, Riforma del sistema nazionale di istruzione e formazione e delega per il riordino delle disposizioni legislative vigenti
16. D.L. 86/2018, Disposizioni urgenti in materia di riordino delle attribuzioni dei Ministeri dei beni e delle attività culturali e del turismo, delle politiche agricole alimentari e forestali e dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare, nonché in materia di famiglia e disabilità
17. D.L. 59/2019, Misure urgenti in materia di personale delle fondazioni lirico sinfoniche, di sostegno del settore del cinema e audiovisivo e finanziamento delle attività del Ministero per i beni e le attività culturali
18. Decreto MIUR n. 101 del 13 febbraio 2019, Reparto risorse, Individuazione interventi e termini di aggiudicazione, Modalità di rendicontazione e monitoraggio, Revoche e controlli per l'utilizzo dei finanziamenti per interventi di adeguamento alla normativa antincendio
19. L. n. 145 del 30 dicembre 2018, Bilancio di previsione dello Stato per l'anno finanziario 2019 e bilancio pluriennale per il triennio 2019-2021
20. Decreto del Presidente del Consiglio del 7 luglio 2020, Finanziamento degli interventi di manutenzione straordinaria e incremento dell'efficienza energetica delle scuole di province e città metropolitane
21. D.M. n. 87 del 1 febbraio 2019, Autorizzazione dei contributi pluriennali
22. D.M. 42/2020, Modifica dei piani autorizzati con decreto del decreto del Ministro dell'istruzione, dell'università e della ricerca
23. D.M. n. 175 del 2020, Riparto risorse finanziamento Piano 2019
24. D.M. n. 71 del 2020, riparto seconda trince di risorse del finanziamento attuato dal D.M. 175 del 2020
25. MARTIN F., HOLLER A., *Schupavillons*, Zurigo, 2017
26. FANTONI, AP Acoustic Paneling, Technical Brochure
27. FORBO, Brochure tecnica Intonaci
28. Decreto Ministeriale 18 dicembre 1975, paragrafo 3.9 "Caratteristiche degli spazi per i servizi igienico-sanitari e per gli spogliatoi"

SITOGRAFIA

1. Anagrafe Nazionale dell'Edilizia Scolastica: qranalytics.pubblica.istruzione.it/cruscottoedilizia/extensions/EdiliziaScolastica/EdiliziaScolastica.html?USER=736274
2. MIUR: www.miur.gov.it
3. Valori senza zaino: www.senzazaino.it
4. Metodo Montessori: www.metodomontessori.it
5. Studio BAUART: www.bauart.it
6. Het Epos School in <https://search.nl/#!/content/primary-school-het-epos>
7. Four Primary Schools in Modular Design in <https://www.wulfarchitekten.com/en/work/detail/show/four-primary-schools-in-modular-design/>
8. Sopraelevazione della scuola elementare di Camorino in <https://www.pietrobschetti.ch/?q=node/53>
9. Liceo Scientifico E. Bèrard in <https://www.ediluboz.it/realizzazione-di-strutturaprefabbricata-per-scuola-superiore-di-secondo-grado-liceo-berard-aosta/>
10. Stora Enso: www.storaenso.com
11. CLT Stora Enso – Technical Brochure, www.storaenso.com
12. Knauf: www.knauf.it
13. Rothoblaas: www.rothoblaas.it
14. Tekla Infissi: www.teklaweb.eu
15. Mapei: www.mapei.it
16. Calculatis: www.calculatis.storaenso.com