

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI GENOVA

Scuola Politecnica
Dipartimento di Architettura e Design



CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN ARCHITETTURA

**RIUSO EDILIZIO E BILANCIO DI CARBONIO:
RICONVERSIONE DI UNA RSA IN UNA SCUOLA ELEMENTARE**

Relatore:
Prof. Adriano Magliocco

Candidato:
Riccardo Pasio (5065941)

Anno accademico 2024/2025

Il progetto di tesi si colloca nel comune di Ceva, un piccolo centro della provincia di Cuneo che, pur disponendo delle principali infrastrutture necessarie al suo funzionamento, negli ultimi anni ha progressivamente perso parte del proprio senso di comunità e di appartenenza. All'interno di questo contesto si inserisce un vuoto urbano significativo, l'ex RSA, un edificio ormai dismesso da tempo che rappresenta una grande opportunità non ancora valorizzata. Anche per l'amministrazione comunale questo spazio costituisce una risorsa inattiva, un'occasione mancata che merita di essere ripensata in chiave pubblica e collettiva. A partire da queste considerazioni, il progetto propone la conversione dell'ex RSA in una scuola primaria, scelta maturata dopo un'analisi delle esigenze del territorio e delle potenzialità legate allo spostamento dell'attuale scuola in una sede più adeguata. Tale trasformazione consentirebbe inoltre all'istituto superiore adiacente di ampliare i propri spazi e le proprie attività, generando un sistema scolastico più efficiente e integrato. L'obiettivo non è soltanto quello di inserire una nuova funzione, ma di restituire alla comunità un luogo capace di diventare un nuovo attrattore sociale, così come la RSA lo era un tempo, favorendo l'incontro tra generazioni e la costruzione di relazioni.

Prima di definire l'intervento, è stato necessario valutare quale fosse la strategia più sostenibile: conservare integralmente la struttura esistente oppure procedere con demolizioni mirate. Attraverso un'analisi delle emissioni di carbonio dei materiali e delle implicazioni ambientali delle diverse opzioni, si è scelto di adottare una demolizione parziale, seguita da una ricostruzione con materiali più ecologici. La nuova struttura in legno permette di ridurre l'impatto ambientale e di configurare un edificio flessibile, capace di ospitare non solo la scuola ma anche una serie di attività complementari, fruibili in momenti diversi della giornata e pensate per garantire versatilità d'uso e apertura alla cittadinanza. La ricerca ha affrontato tutte le fasi tipiche di un progetto reale: dall'analisi del carbonio alla progettazione architettonica, fino allo studio preliminare degli impianti e alla risoluzione delle principali criticità tecniche. Questo percorso ha permesso di costruire una proposta completa, consapevole e radicata nelle esigenze del luogo.

In conclusione, il progetto mette in evidenza come la riattivazione di un edificio dismesso possa generare nuove opportunità per la comunità, restituendo valore a un vuoto urbano che oggi contribuisce al senso di abbandono e di malessere collettivo. La trasformazione dell'ex RSA in una scuola primaria dimostra che il recupero del patrimonio esistente non è soltanto una scelta sostenibile dal punto di vista ambientale, ma anche un atto sociale capace di ricucire legami, rafforzare il senso di appartenenza e restituire alla città un luogo vivo, aperto e condiviso.

Indice

Abstract.....	3
1. QUADRO GENERALE DEL PROGETTO.....	6
1.1 Un edificio abbandonato che diventa scuola.....	8
1.2 Collocazione territoriale.....	14
1.3 Analisi area di progetto.....	18
1.4 Inquadramento urbano: localizzazione attuale e proposta progettuale.....	20
1.5 Situazione urbanistica attuale.....	22
1.6 Analisi geologiche.....	24
1.7 Zona climatica di interesse.....	28
1.8 Primo sopralluogo dell'edificio.....	30
1.9 Configurazione planimetrica.....	34
1.10 Parte strutturale.....	36
1.11 Assonometria dello stato attuale.....	38
2. RISTRUTTURARE O RICOSTRUIRE?.....	40
2.1 Due possibili scenari.....	42
2.2 Conversione del fabbricato.....	44
2.3 L'importanza di spazi scolastici versatili ed adattivi.....	46
2.4 Demolizione parziale e costruzione del nuovo fabbricato.....	48
2.5 Dati di partenza.....	50
2.6 Emissioni CO ₂ fabbricato originale.....	51
2.7 Quantità di CO ₂ rimanente dalla demolizione.....	52
2.8 Quantità di CO ₂ recuperata dalla demolizione.....	53
2.9 Quantità di CO ₂ prodotta dalla nuova costruzione.....	54
2.10 Quantità di CO ₂ prodotta dalla manutenzione incisiva.....	55
2.11 Conservazione e trasformazione totale del fabbricato.....	56
2.12 Demolizione parziale e nuova costruzione.....	57
2.13 Quale strada scegliere?.....	58
3. ANALISI CASI STUDIO.....	60
3.1 La scuola di Hetenitty.....	62
3.2 L'edificio ad Argelato.....	64
3.3 L'edificio multifamiliare ad Umea.....	66
3.4 Gilber Hall vs Center for engineering.....	68
3.5 Edificio per uffici a Liegi.....	70
3.6 Edificio tipico irlandese.....	72
3.7 Area industriale a Lecco.....	74
3.8 Edificio residenziale a Copenaghen.....	76
3.9 Valutazione conclusiva delle evidenze emerse.....	78
4. PROGETTO ARCHITETTONICO.....	80
4.1 Prima analisi dell'area.....	82
4.2 Lettura del contesto circostante.....	84

4.3	Modello di contesto.....	86
4.4	Modello di progetto.....	88
4.5	Sviluppo volumetrico.....	90
4.6	Organizzazione interna degli spazi.....	92
4.7	Planimetria piano terra.....	94
4.8	Planimetria piano primo.....	96
4.9	Planimetria piano secondo.....	98
4.10	Calcolo fattore medio di luce diurna.....	100
4.11	Masterplan di progetto.....	102
4.12	Planimetria piano terra arredata.....	104
4.13	Planimetria piano primo arredata.....	106
4.14	Planimetria piano secondo arredata.....	108
4.15	Planimetria piano terra demolizioni e costruzioni.....	110
4.16	Planimetria piano primo demolizioni e costruzioni.....	112
4.17	Planimetria piano secondo demolizioni e costruzioni.....	114
4.18	Planimetria coperture demolizioni e costruzioni.....	116
4.19	Corridoio didattico.....	118
4.20	Un campo, molte possibilità.....	120
4.21	Facciata esterna.....	122
4.22	Prospetti esterni.....	124
4.23	Sezioni.....	128
4.24	Assonometria generale.....	130
5.	PROGETTAZIONE TECNOLOGICA DEGLI SPAZI.....	132
5.1	Struttura generale.....	134
5.2	Analisi delle chiusure verticali opache.....	136
5.3	Sezioni di dettaglio.....	142
5.4	Fabbisogno energetico e calcolo dimensionamento energetico.....	146
5.5	Impianto termico e impianto di ventilazione meccanica.....	148
5.6	Impianto fotovoltaico.....	150
6.	VISUALIZZAZIONI ARCHITETTONICHE.....	152
6.1	Viste prospetto sud.....	154
6.2	Viste prospetto nord.....	158
6.3	Vista aula tipo.....	162
6.4	Viste corridoio didattico.....	164
7.	CONCLUSIONI.....	170
7.1	Considerazioni finali.....	172

1.1 Un edificio abbandonato che diventa scuola

L'attenzione si concentra ora su cosa inserire all'interno del fabbricato abbandonato. Poiché in passato ha sempre svolto una funzione pubblica e sociale di grande rilievo, si è deciso di mantenerne questa vocazione, reinterpreandola in chiave moderna e rispondendo ai bisogni attuali della cittadina di Ceva. Per questo motivo si è scelto di destinare l'edificio a una scuola primaria, trasferendovi l'attuale scuola "G. Galiano" di Ceva. La decisione nasce da diversi fattori. In primo luogo, l'attuale sede delle scuole elementari è un ex caserma militare, già sottoposta a importanti lavori di adattamento, ma che oggi si presenta come una scuola tradizionale, con aule standard e poco versatili. Questo limita la possibilità di sperimentare nuove forme di apprendimento non convenzionali, sempre più necessarie nella scuola primaria contemporanea.

Un altro motivo rilevante riguarda la vicinanza dell'attuale scuola primaria all'Istituto di Istruzione Superiore "G. Baruffi" di Ceva. Quest'ultimo, disponendo di maggiori spazi grazie al trasferimento, potrebbe ampliare la propria offerta formativa oltre ai corsi già presenti (geometri, ragionieri e liceo scientifico), riducendo così le difficoltà degli studenti che oggi sono costretti a spostarsi quotidianamente anche per oltre 40 km per frequentare indirizzi non disponibili a Ceva. Ciò contribuirebbe alla crescita della cittadina e accrescerebbe il prestigio dell'istituto, offrendo un ventaglio più ampio di opportunità formative.

Naturalmente, lo spostamento della scuola comporta anche alcune complessità: la nuova sede dovrà includere la mensa e la palestra, attualmente adiacenti all'edificio esistente. La costruzione della palestra, tuttavia, deve essere considerata un'opportunità, poiché a Ceva stanno nascendo nuove attività sportive che necessitano di spazi adeguati per gli allenamenti.

Il progetto prevede inoltre la creazione di spazi polivalenti e culturali, come una biblioteca, fruibili sia dagli alunni sia dalla comunità. L'obiettivo è favorire un dialogo tra dimensione sociale e scolastica, garantendo la coesistenza di funzioni diverse, pur mantenendo ingressi e spazi distinti quando necessario.











1.2 Collocazione territoriale





Ceva è un centro urbano del Piemonte meridionale, situato nella porzione sud-orientale della Provincia di Cuneo, in un'area di cerniera tra il sistema collinare delle Langhe e le prime propaggini montane che conducono verso l'Appennino ligure. Il territorio comunale, esteso per circa 43 km², presenta una morfologia articolata, caratterizzata da una combinazione di rilievi collinari, versanti boscati e aree pianeggianti modellate dal corso del fiume Tanaro e dai suoi affluenti minori. La cittadina dispone di tutti i principali servizi, tra cui l'ospedale e l'intero sistema scolastico articolato sui diversi livelli di istruzione. Il territorio risulta inoltre ben dotato dal punto di vista infrastrutturale con la presenza della linea ferroviaria e del casello autostradale.



Collocazione di Ceva all'interno della Regione Piemonte e successivamente nella Provincia di Cuneo



1.3 Analisi area di progetto

Il manufatto oggetto di studio si colloca in una zona parzialmente pianeggiante, posta alla base dell'area collinare che caratterizza la parte alta della città di Ceva. Tale posizione garantisce un'esposizione luminosa particolarmente favorevole, grazie alla presenza delle principali facciate rivolte verso sud-est.

Il contesto edificato circostante non genera ostacoli significativi le distanze tra i fabbricati risultano generalmente adeguate, ad eccezione dell'edificio posto a nord, leggermente più ravvicinato, che tuttavia non produce ombreggiamenti rilevanti nel corso della giornata. L'edificio è delimitato da una strada su uno dei lati, ma la differenza di quota presente non costituisce un elemento



critico; al contrario, rappresenta un'opportunità in termini di rapidità e facilità dei collegamenti.

L'elemento più evidente del contesto è la forte presenza di aree verdi, l'edificio è infatti completamente circondato da spazi naturali. Sul fronte principale si trova un parco pubblico già attrezzato con arredi urbani e una piccola area giochi per bambini, mentre sul retro è presente un ulteriore prato di proprietà comunale.

Nel complesso, il fabbricato dispone di ampie potenzialità di ampliamento e di spazi esterni idonei allo svolgimento di diverse attività, senza generare impatti negativi o disturbi per la quiete del contesto circostante.



1.4 Inquadramento urbano: localizzazione attuale e proposta progettuale

Situazione attuale per gli spostamenti nella scuola

Per raggiungere alcuni spazi della scuola, come la palestra e la mensa, gli alunni devono uscire dall'edificio principale.

Questo comporta diversi problemi:

- aumento dei tempi di spostamento tra le attività
- interruzioni e soste che rallentano la didattica
- esposizione a condizioni climatiche sfavorevoli
- maggiore rischio di incidenti durante i tragitti esterni
- minore sicurezza generale per i bambini

Nel nuovo istituto tutte le attività saranno collocate all'interno dell'edificio principale, evitando spostamenti esterni e garantendo maggiore sicurezza, tempi ridotti e un ambiente più funzionale per i bambini.

Posizione del nuovo edificio scolastico

- spazi maggiori
- nuove opportunità
- nuovi laboratori
- progettazione mirata

Dopo lo spostamento delle scuole elementari

L'Istituto Superiore G. Baruffi potrebbe valorizzare gli spazi rimasti inutilizzati per crescere e offrire nuove opportunità:

- ampliamento delle aule disponibili
- creazione di nuovi laboratori didattici e scientifici
- introduzione di corsi di studio aggiuntivi
- spazi dedicati a progetti innovativi
- ambienti più funzionali per studenti e docenti
- maggiore capacità di accoglienza
- valorizzazione del territorio



Istituto di Istruzione superiore G. Baruffi

- amministrazione finanza e marketing
- costruzione ambiente e territorio
- liceo scientifico

Scuola elementare G. Galliano

- ex caserma riadattata
- spazi vincolati
- aule tradizionali

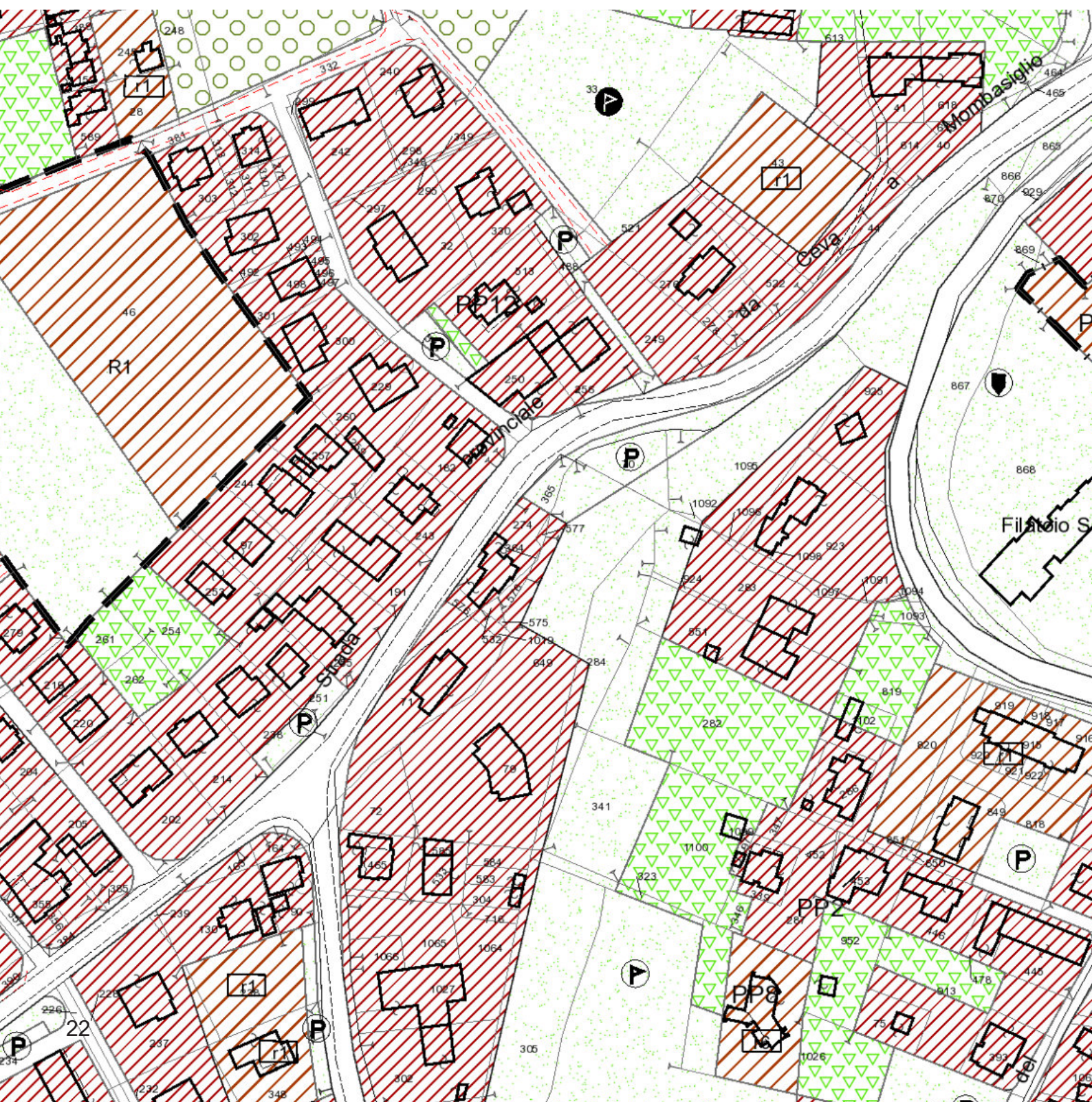
Palestra attuale della scuola

- spazio contenuto
- poca versatilità
- struttura datata

Mensa attuale della scuola

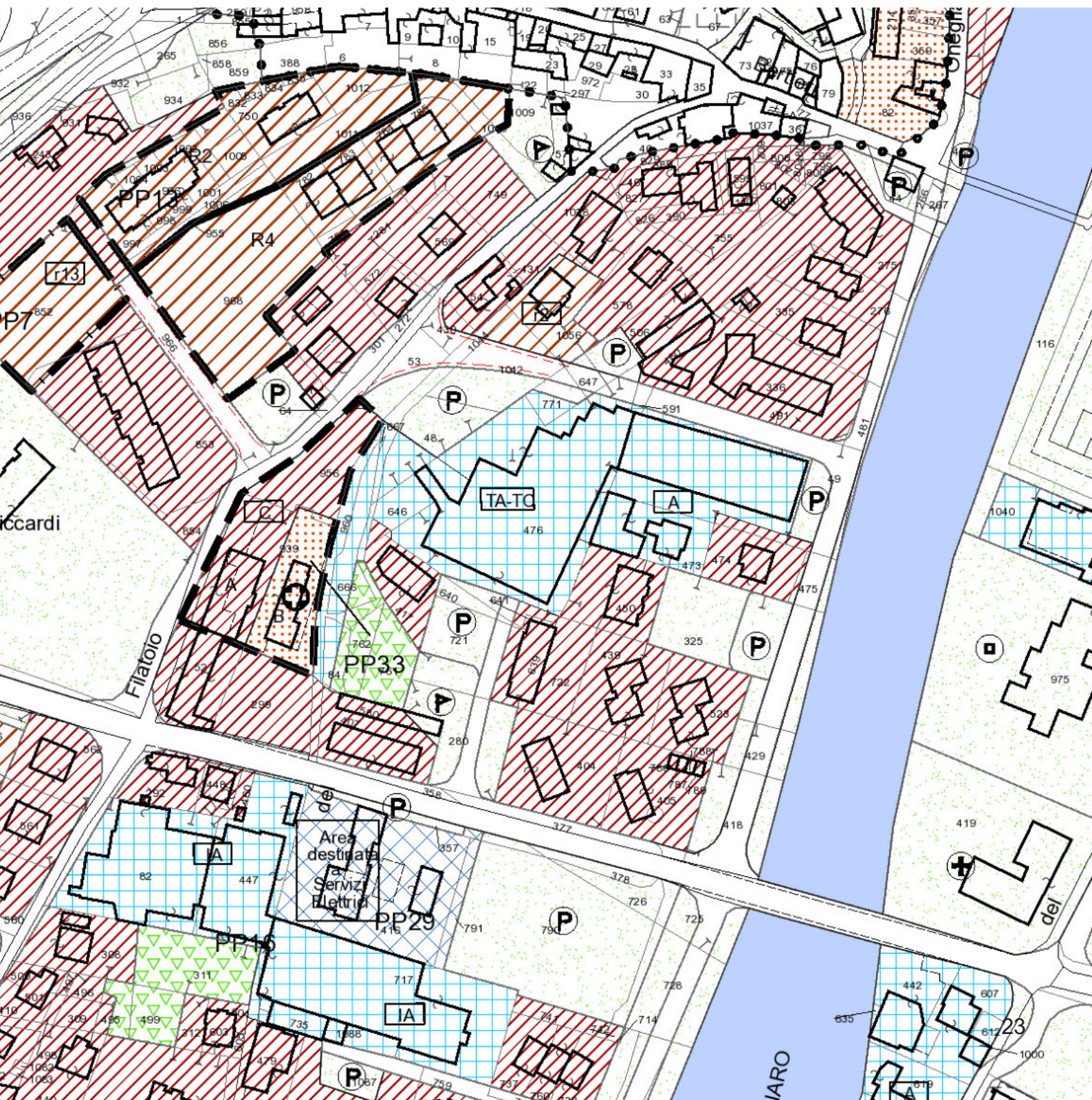
1.5 Situazione urbanistica attuale

Prima di avviare le fasi progettuali è fondamentale analizzare le eventuali limitazioni catastali presenti nell'area di intervento. In particolare, consultando il PRG comunale, si rileva che l'area oggetto di studio ricade all'interno delle zone destinate a servizi pubblici. Tali spazi comprendono gli spazi necessari per istruzione, attrezzature di interesse comune, verde pubblico e parcheggi. Possono essere realizzate direttamente secondo le norme di legge oppure indirettamente come condizione per il Permesso di Costruire, anche a scampo degli oneri. Le destinazioni d'uso indicate sono orientative e possono essere modificate tramite un Piano Tecnico Esecutivo di Opere Pubbliche o un Piano Particolareggiato. Per gli interventi diretti valgono alcuni limiti sugli indici fondiari e



sui parcheggi: le aree scolastiche hanno un indice massimo di 0,5 mq/mq; le attrezzature di interesse comune 0,6 mq/mq con parcheggi differenziati tra funzioni religiose e civili; i parchi per il gioco e il verde hanno un indice molto ridotto, pari a 0,01 mq/mq; il verde attrezzato prevede indici diversi per impianti coperti e scoperti.



Le aree di verde di arredo sono inedificabili salvo concessioni precarie e possono essere sistemate anche a parcheggio. I parcheggi pubblici superiori a 100 mq devono includere una quota minima di verde alberato e, se in struttura, rispettare limiti su copertura e numero di piani. Le aree per servizi possono essere monetizzate secondo i valori stabiliti dal Comune.

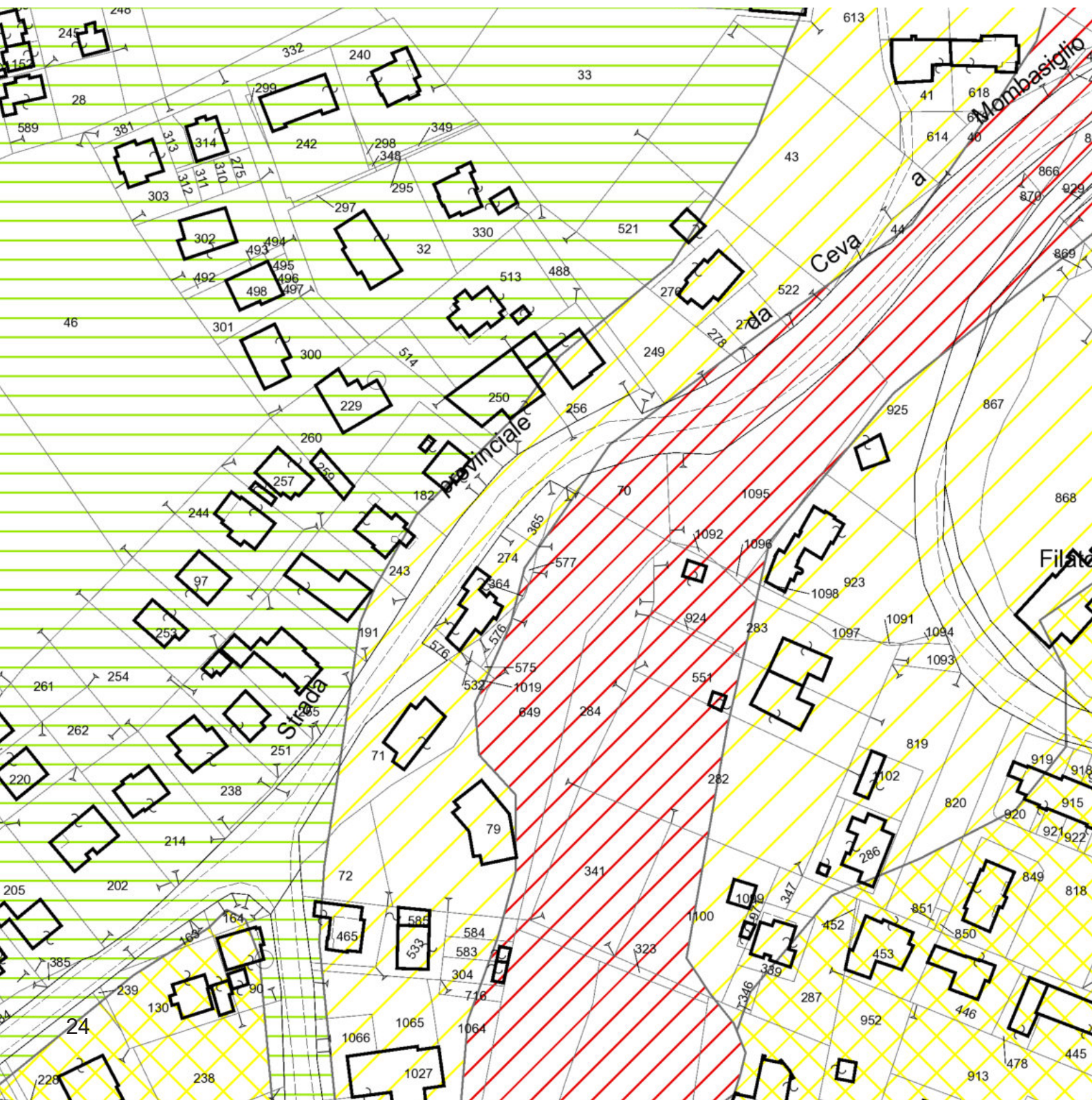


1.6 Analisi geologiche

La classificazione geologica riportata nel Piano Regolatore Generale del Comune di Ceva deriva dalla normativa regionale piemontese (Circolare 7/LAP/96 e D.G.R. 64-740/2000), che suddivide il territorio in classi di idoneità all'utilizzazione urbanistica. Questa classificazione ha lo scopo di valutare le condizioni geologiche, geomorfologiche e idrogeologiche dei terreni, definendo per ciascuna classe le relative prescrizioni tecniche.

La Classe IIa identifica aree generalmente idonee all'edificazione, caratterizzate da condizioni geologiche e geotecniche favorevoli e prive di particolari criticità. In tali zone l'intervento edilizio è consentito adottando i normali accorgimenti tec-

-  Classe IIa
-  Classe IIb





nici progettuali, come la verifica geotecnica delle fondazioni e una corretta gestione delle acque meteoriche. Si tratta quindi di terreni stabili, con limitazioni modeste e facilmente gestibili.

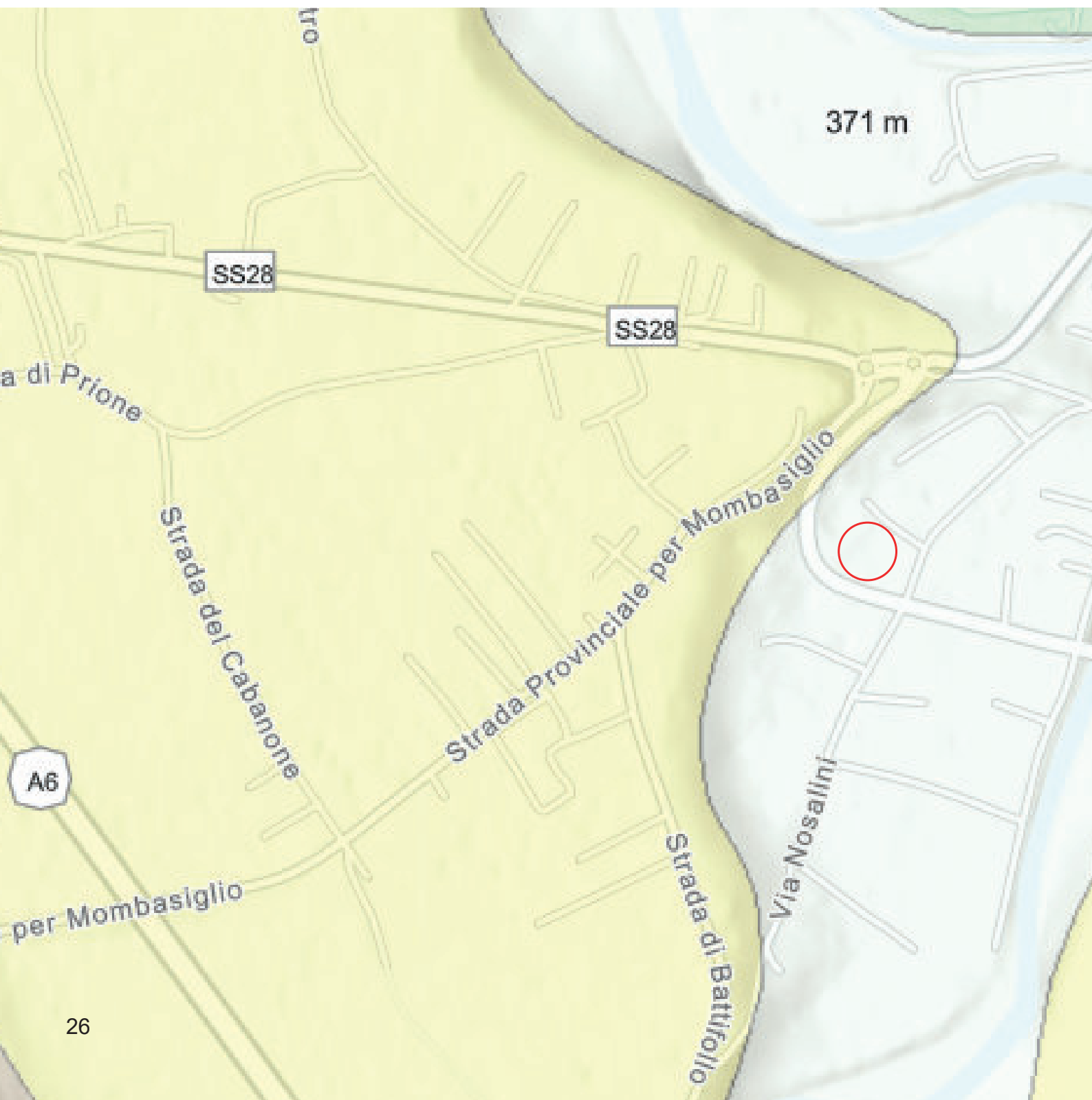
La Classe IIb comprende invece aree con limitazioni più marcate, dovute alla presenza di condizioni di pericolosità geomorfologica o idrogeologica che richiedono maggiore attenzione. L'edificazione è comunque possibile, ma subordinata alla redazione di una relazione geologica più approfondita e all'adozione di specifiche misure tecniche, quali drenaggi, verifiche di stabilità o interventi di mitigazione. Le prescrizioni devono garantire che l'opera non comprometta la sicurezza del sito né delle aree circostanti.



La caratterizzazione litologica dell'area di progetto è stata ricavata dalla Carta Geologica del Piemonte, consultata tramite il WebGIS di ARPA Piemonte. Mentre la mappa precedente del Piano Regolatore Comunale illustrava esclusivamente il grado di idoneità geologica all'edificazione, questa analisi si concentra invece sulla tipologia reale dei terreni presenti nell'area.

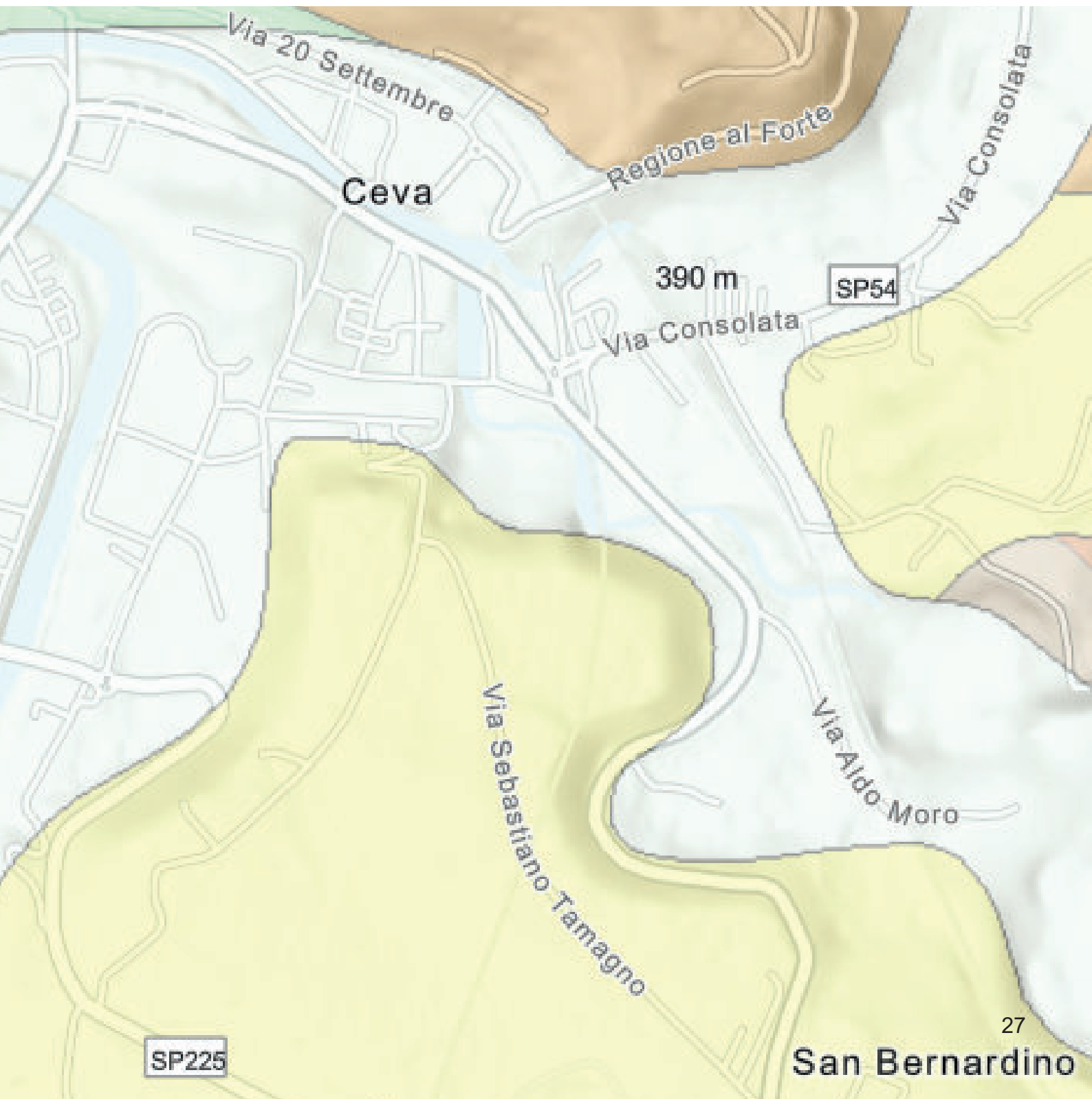
L'area ricade nell'unità geologica IGLA fl1, costituita da depositi fluviali e di debris flow di età olocenica-attuale. Si tratta di materiali sciolti, prevalentemente ghiaie e sabbie, che derivano dai processi deposizionali dei corsi d'acqua e dalle colate detritiche che caratterizzano i fondovalle dei domini al-

-  Area di progetto
-  fl1 - Depositi fluviali



pini e appenninici. La natura recente e non metamorfica di questi sedimenti riflette un ambiente geologico giovane e dinamico, modellato da apporti continui provenienti dai versanti.

In sintesi, il terreno dell'area è composto da un mix eterogeneo di sabbie e ghiaie, tipico dei depositi alluvionali recenti, con caratteristiche granulari che richiedono attenzione soprattutto per quanto riguarda compattazione e comportamento idraulico.



1.7 Zona climatica di interesse

L'edificio oggetto del progetto si trova, come già anticipato, nel Comune di Ceva, un piccolo centro situato nella provincia di Cuneo. Analizzando gli aspetti più tecnici e legati alla morfologia del territorio, il comune si colloca a circa 385 metri sul livello del mare, questa altitudine determina un clima generalmente mite, caratterizzato tuttavia da inverni rigidi e costanti, dovuti alla vicinanza con i rilievi montuosi presenti nel raggio di pochi chilometri. Per questo motivo, dopo aver analizzato la normativa di riferimento in particolare il decreto ministeriale del 29 giugno 2015 si è ritenuto necessario individuare con precisione le limitazioni e gli standard prestazionali richiesti per la specifica zona climatica in cui l'edificio ricade,

Zona climatica	U (W/m ² K)	
	2015 ⁽¹⁾	2019/2021 ⁽²⁾
A e B	0,45	0,43
C	0,38	0,34
D	0,34	0,29
E	0,30	0,26
F	0,28	0,24

Trasmittanza termica U delle strutture opache verticali, verso l'esterno, gli ambienti non climatizzati o contro terra_Allegato A



Zona climatica	U (W/m ² K)	
	2015 ⁽¹⁾	2019/2021 ⁽²⁾
A e B	0,38	0,35
C	0,36	0,33
D	0,30	0,26
E	0,25	0,22
F	0,23	0,20

Trasmittanza termica U delle strutture opache orizzontali o inclinate di copertura, verso l'esterno e gli ambienti non climatizzati_Allegato A



Zona climatica	U (W/m ² K)	
	2015 ⁽¹⁾	2019/2021 ⁽²⁾
A e B	0,46	0,44
C	0,40	0,38
D	0,32	0,29
E	0,30	0,26
F	0,28	0,24

Trasmittanza termica U delle opache orizzontali di pavimento, verso l'esterno, gli ambienti non climatizzati o contro terra_Allegato A



Zona climatica	U (W/m ² K)	
	2015 ⁽¹⁾	2019/2021 ⁽²⁾
A e B	3,20	3,00
C	2,40	2,20
D	2,00	1,80
E	1,80	1,40
F	1,50	1,10

Trasmittanza termica U delle chiusure tecniche trasparenti e opache e dei cassonetti, comprensivi degli infissi, verso l'esterno e verso ambienti non climatizzati_Allegato A



così da garantire un progetto conforme alla normativa vigente. La normativa prevede due allegati principali: l'Allegato A, relativo alle nuove costruzioni, e l'Allegato B, dedicato agli interventi di ristrutturazione. Entrambi risultano pertinenti al nostro caso, poiché il progetto potrebbe prevedere sia parti demolite e ricostruite, sia porzioni oggetto di semplice ristrutturazione. Per quanto riguarda la classificazione climatica, il Comune di Ceva ricade in zona **E**, con **2781** gradi-giorno, come indicato nell'elenco regionale di riferimento all'art. A del DPR 412/1993, modificato dal DPR 551/1999. L'appartenenza alla zona E comporta il rispetto di valori di trasmittanza termica particolarmente restrittivi, necessari per garantire un adeguato livello di isolamento e un comfort.

Trasmittanza termica U delle strutture opache verticali, verso l'esterno, gli ambienti non climatizzati o contro terra_Allegato B



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

Trasmittanza termica U delle strutture opache orizzontali o inclinate di copertura, verso l'esterno e gli ambienti non climatizzati_Allegato B



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

Trasmittanza termica U delle opache orizzontali di pavimento, verso l'esterno, gli ambienti non climatizzati o contro terra_Allegato B



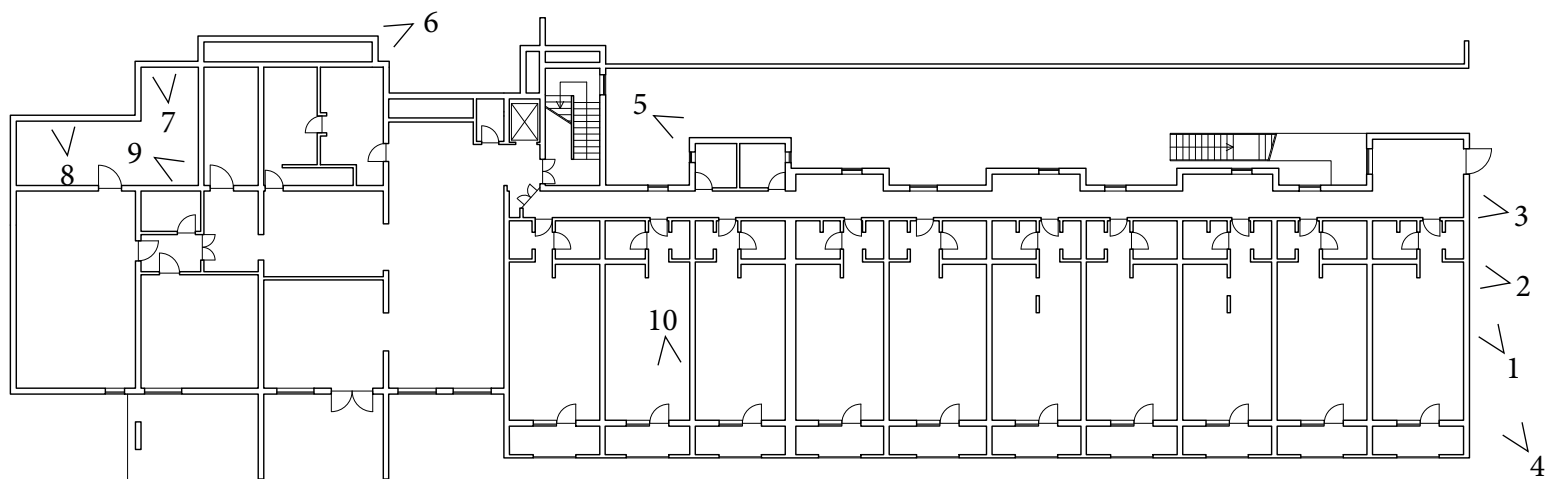
Zona climatica	U (W/m ² K)	
	2015 ⁽¹⁾	2021 ⁽²⁾
A e B	0,48	0,42
C	0,42	0,38
D	0,36	0,32
E	0,31	0,29
F	0,30	0,28

Trasmittanza termica U delle chiusure tecniche trasparenti e opache e dei cassonetti,comprensivi degli infissi, verso l'esterno e verso ambienti non climatizzati_Allegato B



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

1.8 Primo sopralluogo dell'edificio



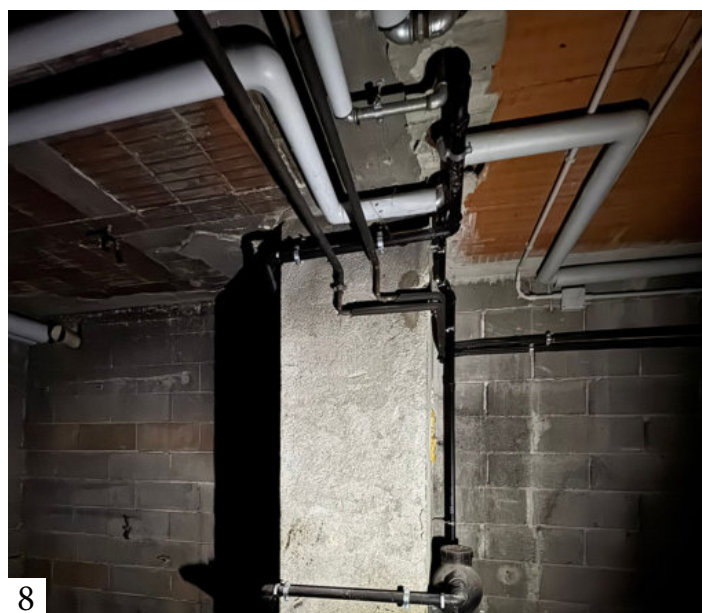
3



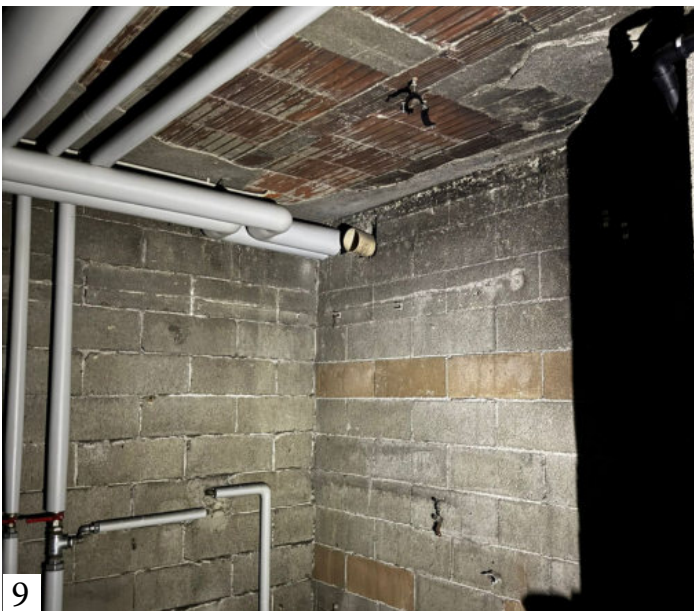
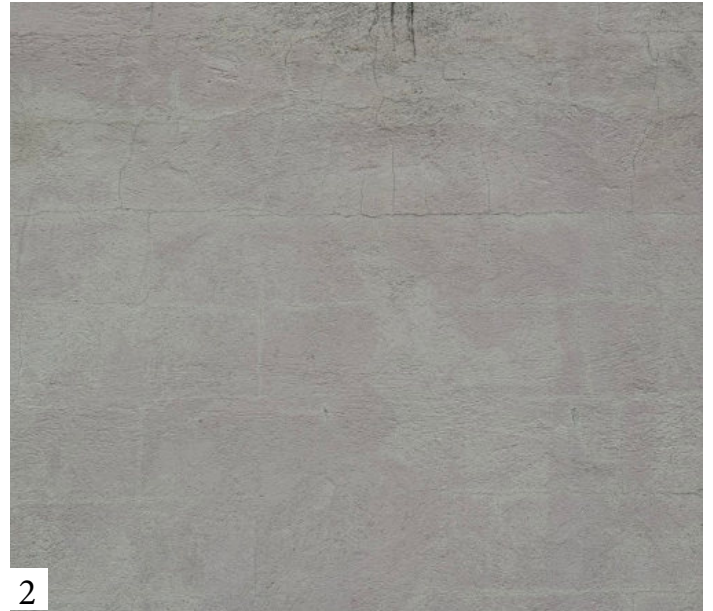
4

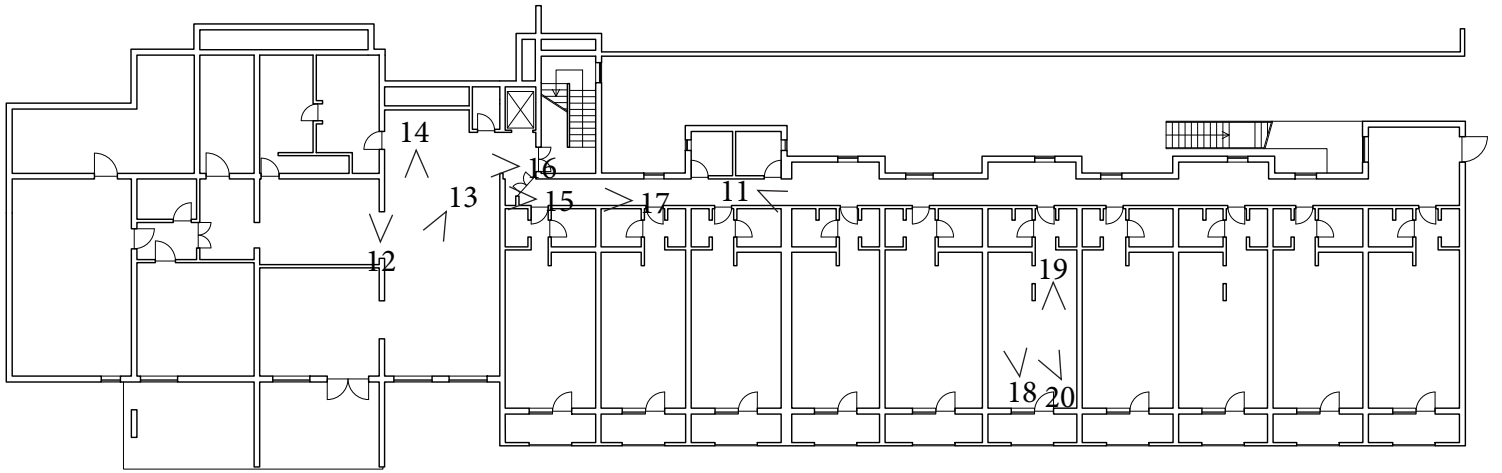


7

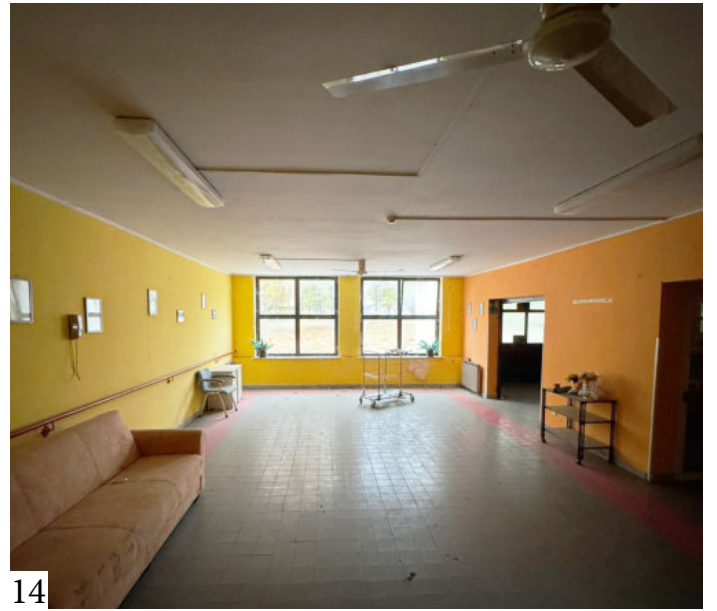


8

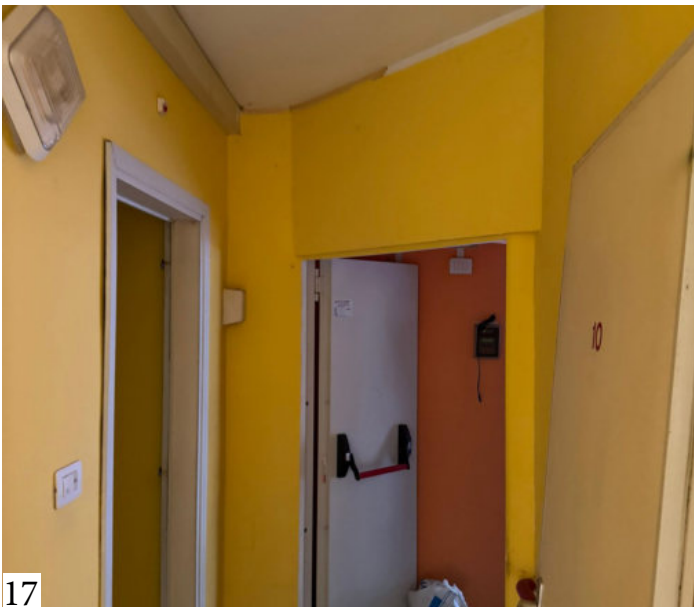




13



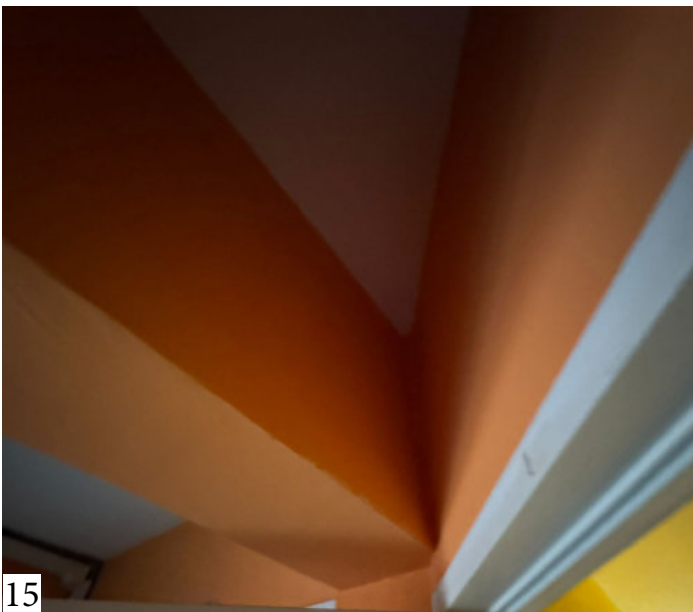
14



17



18



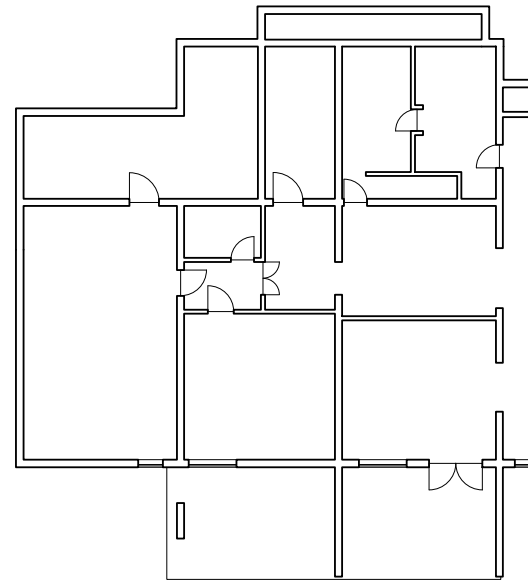
1.9 Configurazione planimetrica

L'edificio si sviluppa su tre livelli, anche se sia il piano terra sia il piano primo presentano accessi al livello della strada. Ciò avviene perché la porzione sinistra del piano terra risulta parzialmente interrata e, a causa della differenza di quota del terreno e della leggera pendenza della strada, si generano ingressi distinti che si collocano entrambi alla quota di terra.

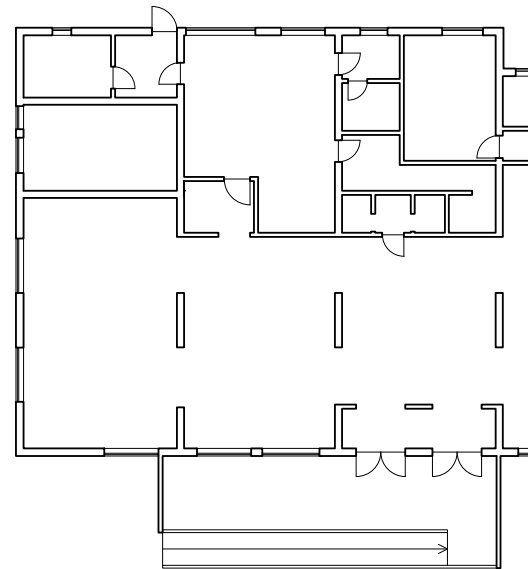
Fino al momento del suo utilizzo originario, il piano terra accoglieva gli spazi destinati alla manutenzione e alla gestione del fabbricato, come i locali adibiti alla centrale termica e le aree di stoccaggio per materiali vari. Erano inoltre presenti ambienti con funzioni mediche, quali ambulatori e stanze per visite, oltre alle camere mortuarie destinate alla custodia delle salme. In questo livello si trovava anche una piccola stanza adibita al ristoro delle persone ospitate, con un ridotto spazio per la preparazione dei pasti, poiché le funzioni principali di ristorazione erano collocate al piano primo. Nella parte destra del piano terra erano presenti le camere di riposo della RSA, più ampie e profonde rispetto a quelle dei piani superiori. Tutte le stanze disponevano di affaccio verso l'esterno grazie a piccoli balconcini che, al piano terra, si trovavano al livello della strada e assumevano più la funzione di elementi di separazione che di veri e propri balconi. Il piano terra rappresentava inoltre il collegamento più diretto con il parco antistante lo stabilimento, offrendo una connessione immediata con la natura, particolarmente apprezzata durante le stagioni più calde.

Al piano primo si trovavano gli spazi principali dedicati alla ristorazione, con una grande cucina dotata di locali di deposito per gli alimenti e ambienti di servizio per il personale, come spogliatoi e servizi igienici. Accanto alla cucina erano collocate le sale da pranzo, cuore della vita comunitaria, che costituivano il luogo di incontro quotidiano tra gli ospiti e i loro familiari nelle ore dedicate. In questo livello erano presenti anche gli uffici della direzione, mentre il resto della superficie era occupato dalle camere da letto, organizzate con la stessa disposizione del piano terra ma con profondità minore. Queste stanze risultavano quindi più contenute nelle dimensioni, pur mantenendo un balcone che garantiva luce naturale e affaccio verso l'esterno.

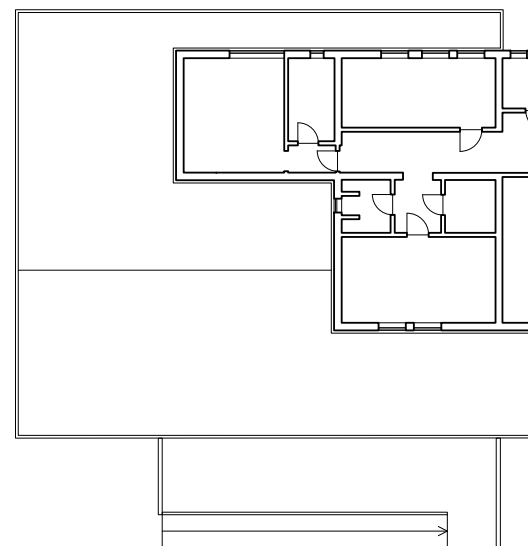
Il piano secondo era invece destinato alle persone non autosufficienti e completamente allettate. Le stanze, di dimensioni ridotte, rispondevano alle esigenze specifiche di questa tipologia di ospiti. L'altezza interna del piano, pari a soli 2,70 m, rende oggi complessa la sua conversione in ambienti destinati al pubblico. Da questo livello partiva inoltre una scala di emergenza che conduceva direttamente al piano primo. L'intero edificio era servito da una scala interna e da un ascensore che collegavano tutti i piani, garantendo accessibilità e continuità verticale.



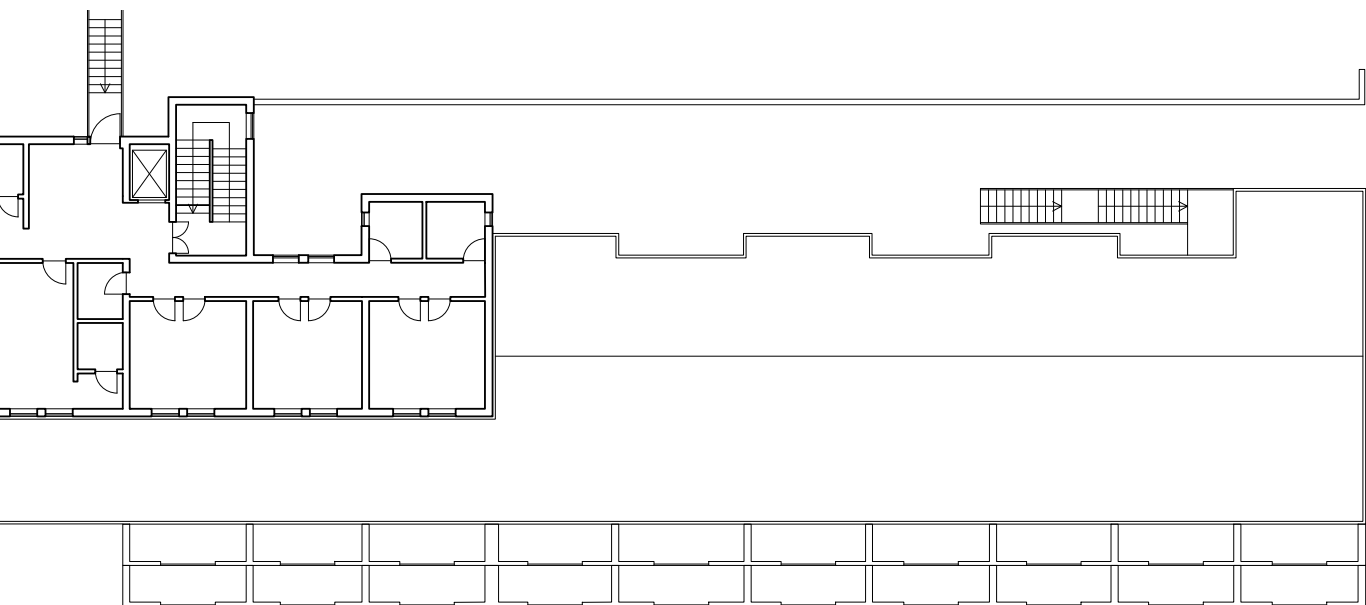
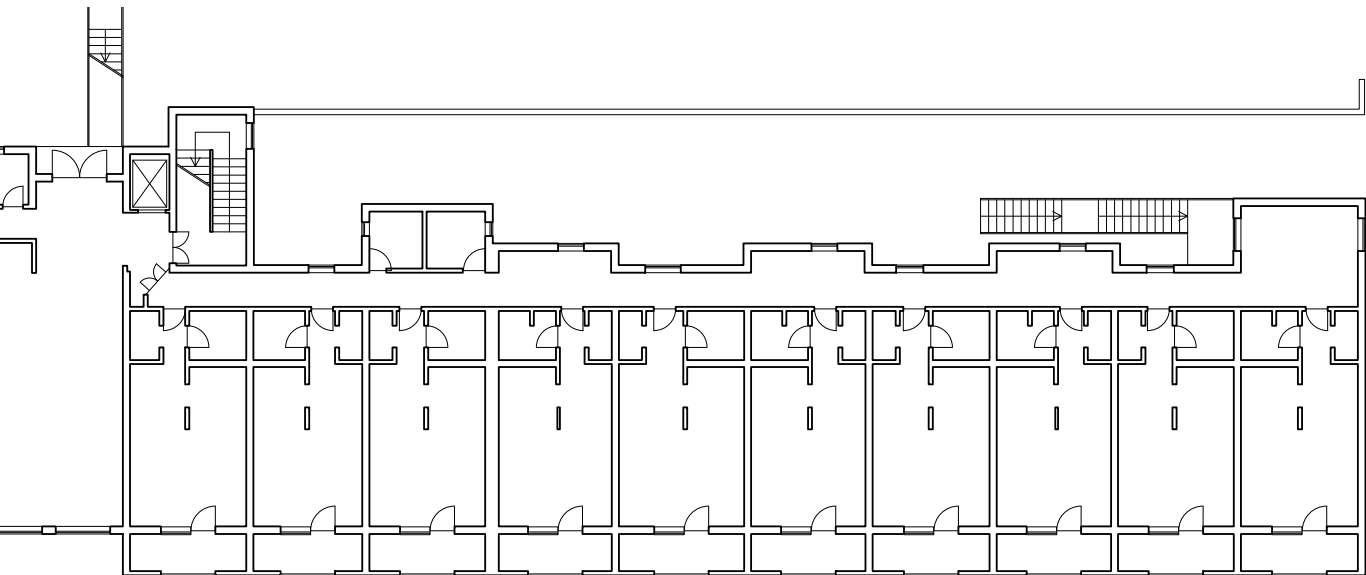
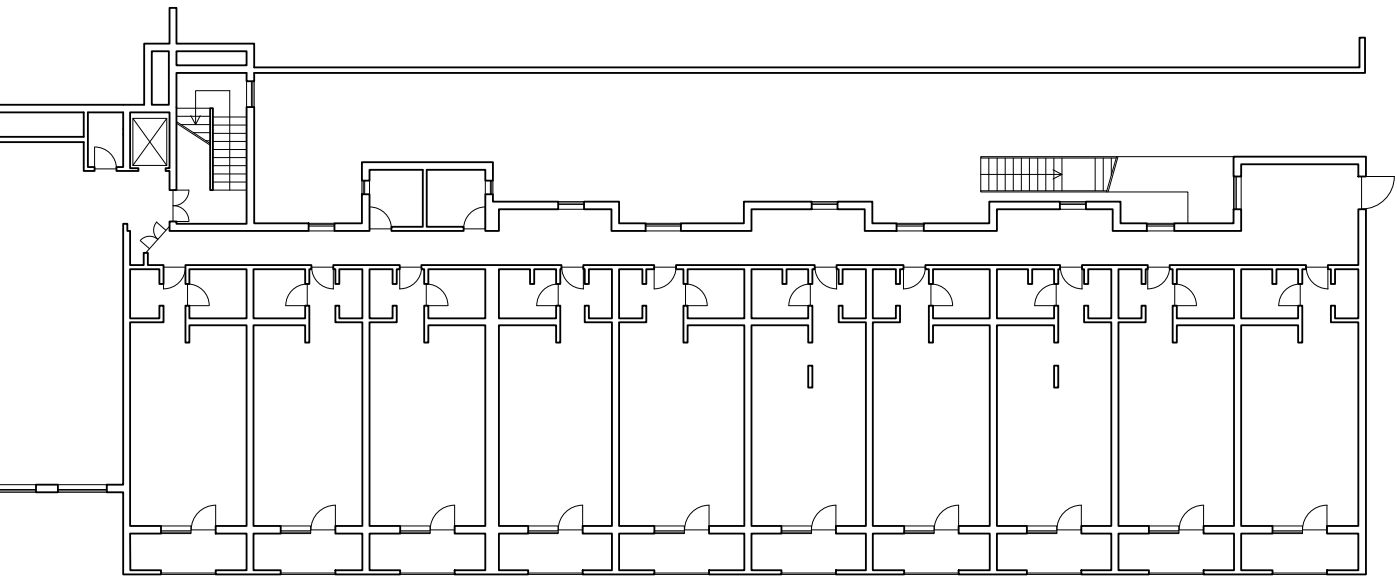
Pianta piano terra



Pianta piano primo



Pianta piano secondo

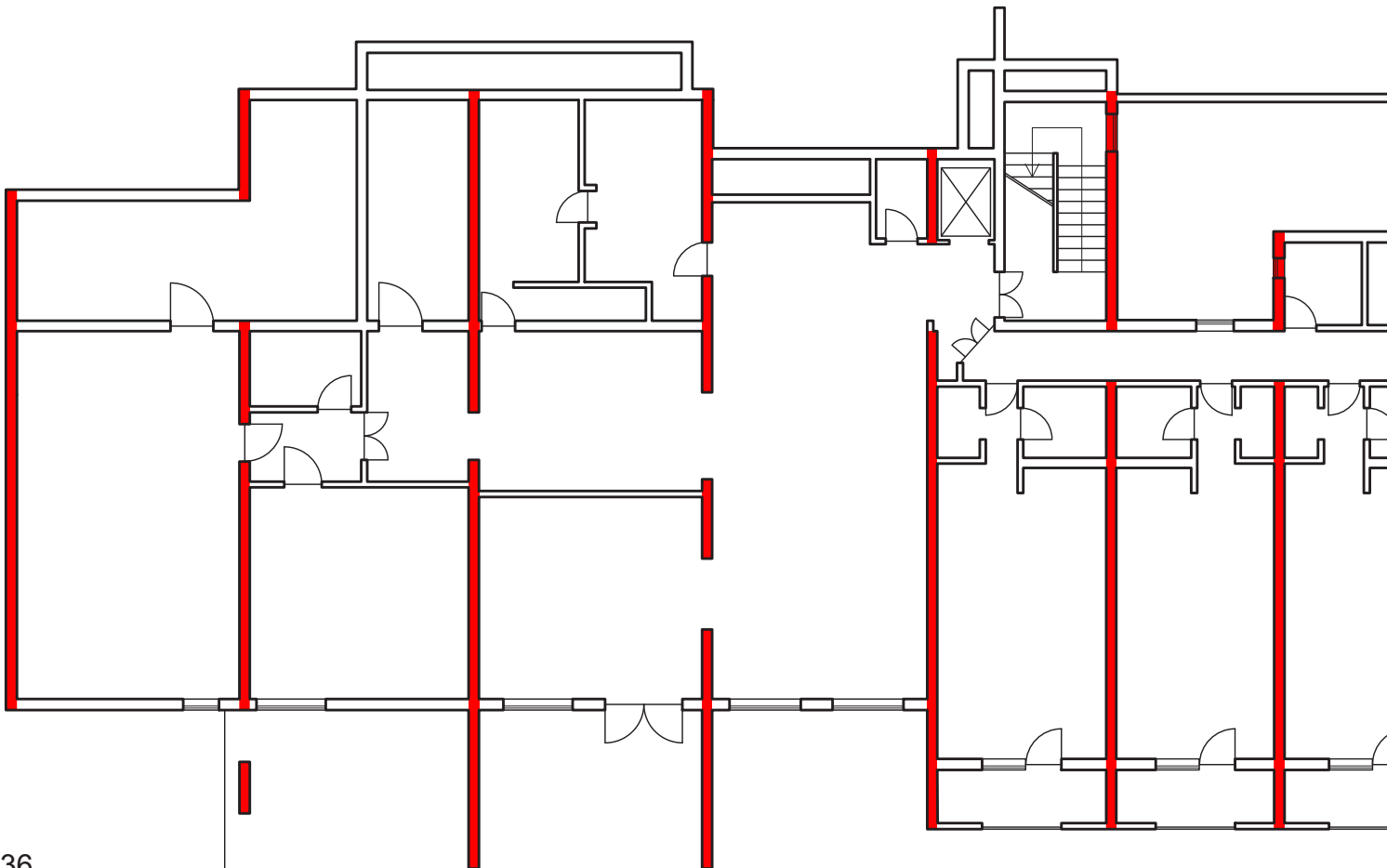


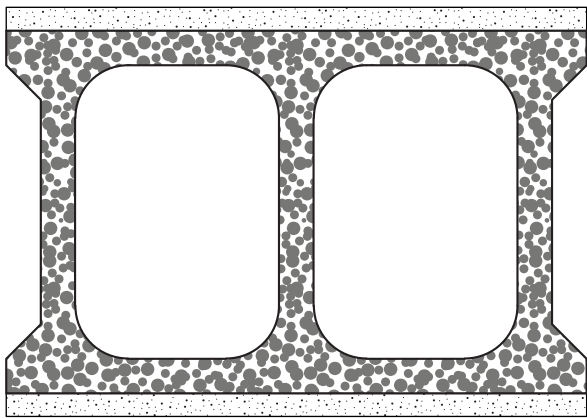
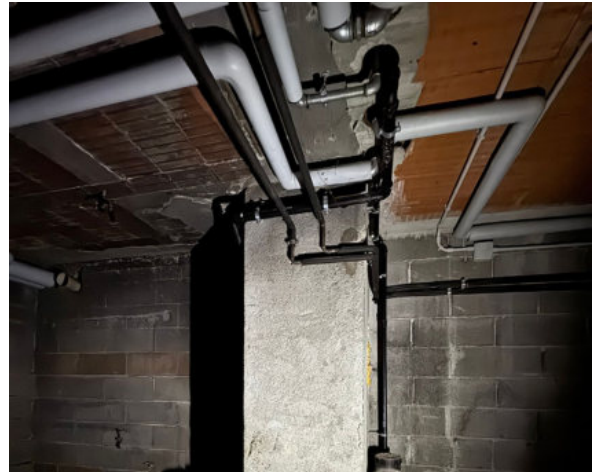
1.10 Parte strutturale

Per quanto riguarda la parte strutturale dell'edificio, è stato complesso arrivare a una ricostruzione precisa e attendibile, poiché non sono disponibili documenti che forniscano informazioni sulla sua realizzazione. Durante il sopralluogo si è quindi cercato di dedurre la tipologia strutturale attraverso osservazioni dirette e alcuni indizi presenti nell'edificio. In particolare, una porzione non intonacata situata in un locale adibito a deposito ha permesso di individuare la presenza di blocchi in calcestruzzo, presumibilmente utilizzati per l'intera struttura portante, quindi sulla base di questa evidenza si ipotizza che tutto il sistema costruttivo sia stato realizzato con blocchi di calcestruzzo.

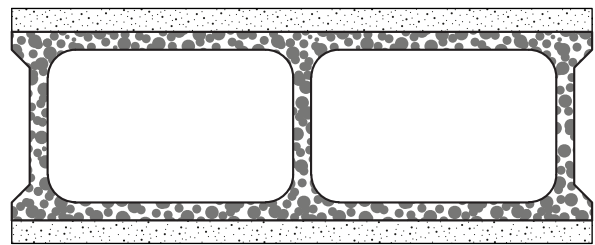
Le misurazioni degli spessori murari hanno consentito di formulare alcune ipotesi sulle dimensioni dei blocchi impiegati. Per le murature portanti si ritiene che siano stati utilizzati blocchi da 25 cm, dimensione che sembra essere stata adottata anche per le pareti esterne di chiusura. Le pareti divisorie interne, invece, risultano realizzate con blocchi di dimensioni inferiori, verosimilmente da 13 cm. Anche la tipologia dei solai è stata dedotta grazie a una porzione non intonacata al piano terra, dove la presenza dei travetti in calcestruzzo e delle pignatte ha confermato l'utilizzo di solai in laterocemento.

Lo studio e l'analisi del fabbricato verranno quindi condotti assumendo questi materiali e queste tecniche costruttive.






0.5 cm
25 cm
0.5 cm

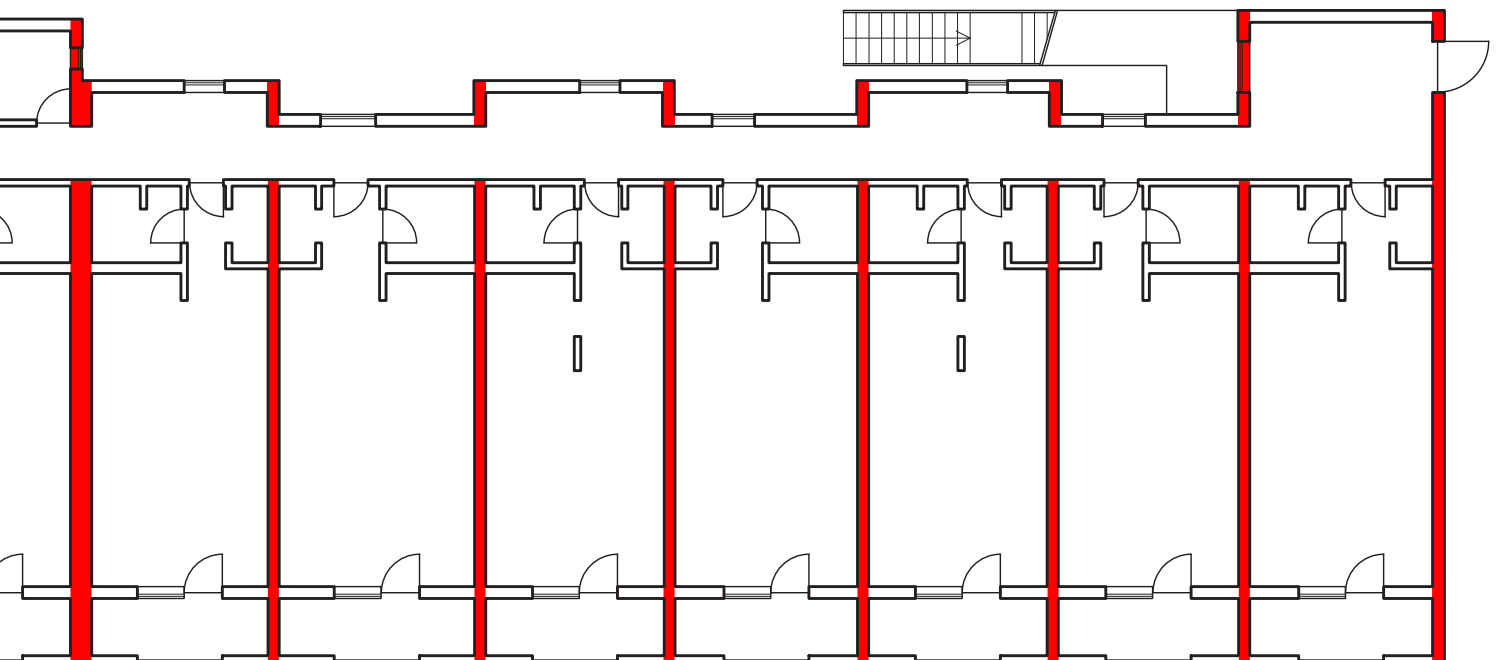


0.5 cm
13 cm
0.5 cm

40 cm

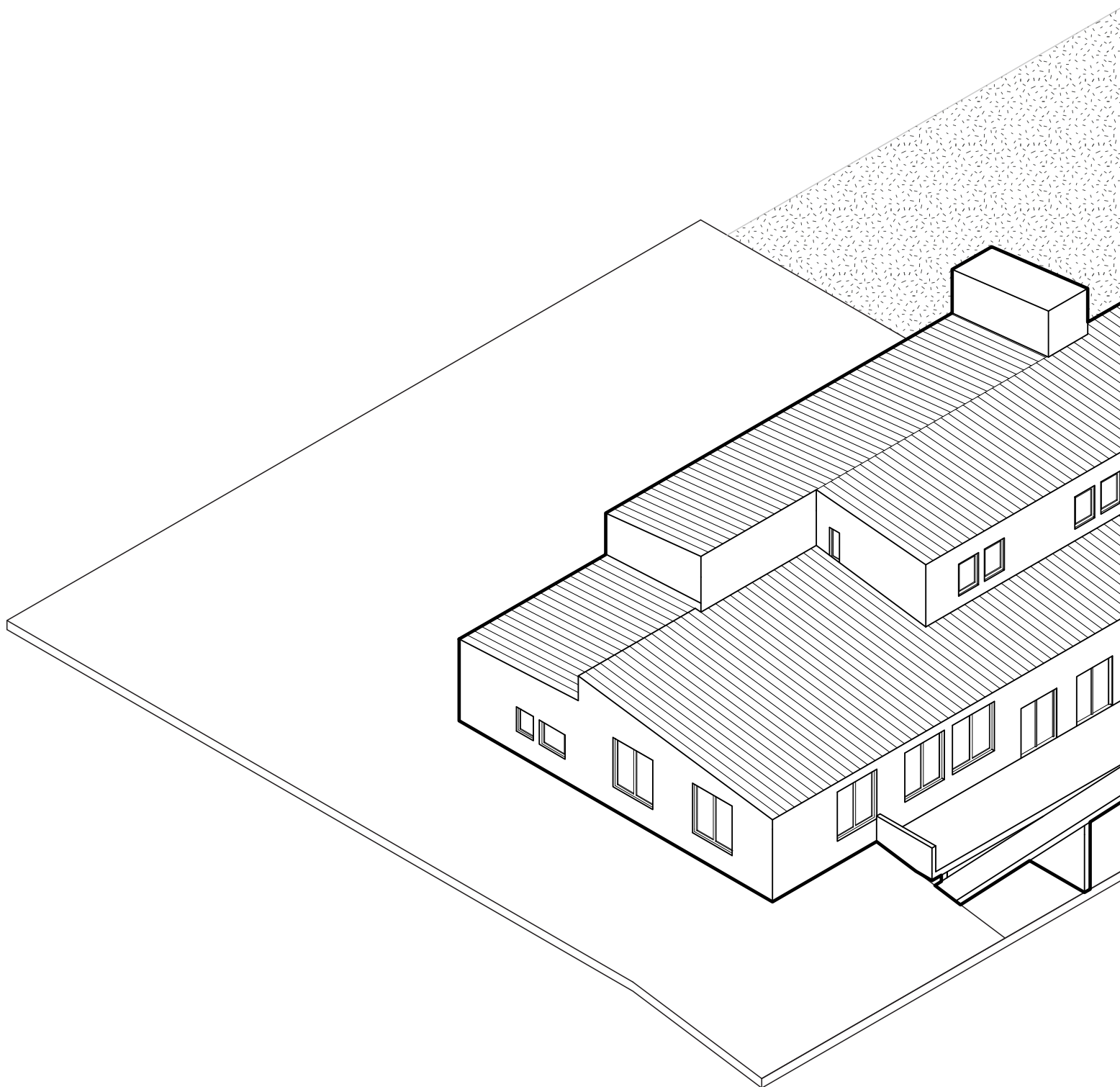
40 cm

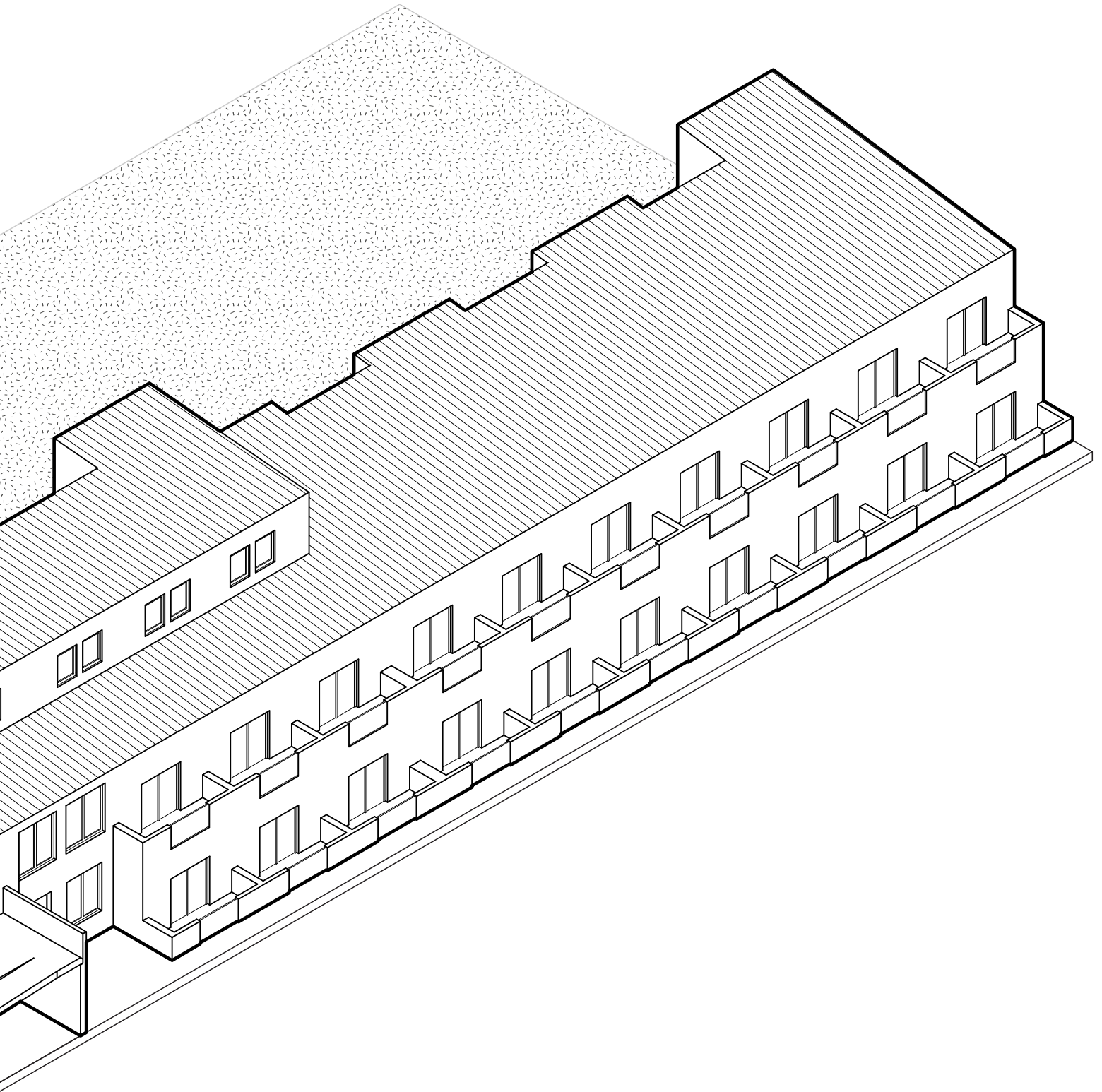
 Elementi portanti principali in blocchi di calcestruzzo



1.11 Assonometria dello stato attuale

Chiudendo la parte dedicata alla restituzione grafica dello stato attuale e del suo studio nei temi più importanti per lo sviluppo del progetto, viene inserita un'assonometria dello stato attuale del fabbricato per evidenziare le sue componenti architettoniche e il suo sviluppo.





2.1 Due possibili scenari

Ci sono diverse strategie possibili per l'adattamento della struttura scolastica esistente e per questo motivo ne prenderemo in considerazione due che si ritengono le più adatte.

La prima consiste nel mantenere l'intero fabbricato esistente intervenendo con un'opera di ristrutturazione significativa che comporta una trasformazione radicale degli spazi interni, mentre la seconda prevede una demolizione parziale della parte più problematica dell'edificio e la successiva ricostruzione di un nuovo corpo collegato alla struttura già presente, realizzato con materiali e caratteristiche contemporanee.

Analizzando più nel dettaglio la prima ipotesi, il problema principale riguarda l'ampliamento delle vecchie camere che non hanno dimensioni sufficienti e devono quindi essere modificate e allargate in modo consistente; per raggiungere le misure necessarie si rende indispensabile l'unione di due stanze tra loro, operazione che comporta la demolizione delle pareti esterne, delle tramezze interne e del muro portante centrale. Per garantire la stabilità durante queste demolizioni sarà necessario puntellare gran parte del solaio superiore con appositi sostegni nella zona interessata e rimuovere anche il muro perimetrale esterno, così da consentire l'inserimento di un telaio in acciaio HEA che sostituirà il muro portante e assicurerà il sostegno del solaio. Questo intervento permetterà di ottenere stanze con dimensioni adeguate allo svolgimento delle lezioni, anche se alcuni spazi rimarranno articolati e in parte sacrificati poiché non sarà possibile eliminare completamente tutte le pareti portanti. Una volta posizionato il telaio si procederà alla rimozione dei sostegni provvisori e alla ricostruzione della parete esterna, incrementando lo strato isolante verso l'esterno per migliorare le prestazioni energetiche dell'edificio.

Assonometria raffigurante la prima soluzione in cui si mantiene interamente il fabbricato originale

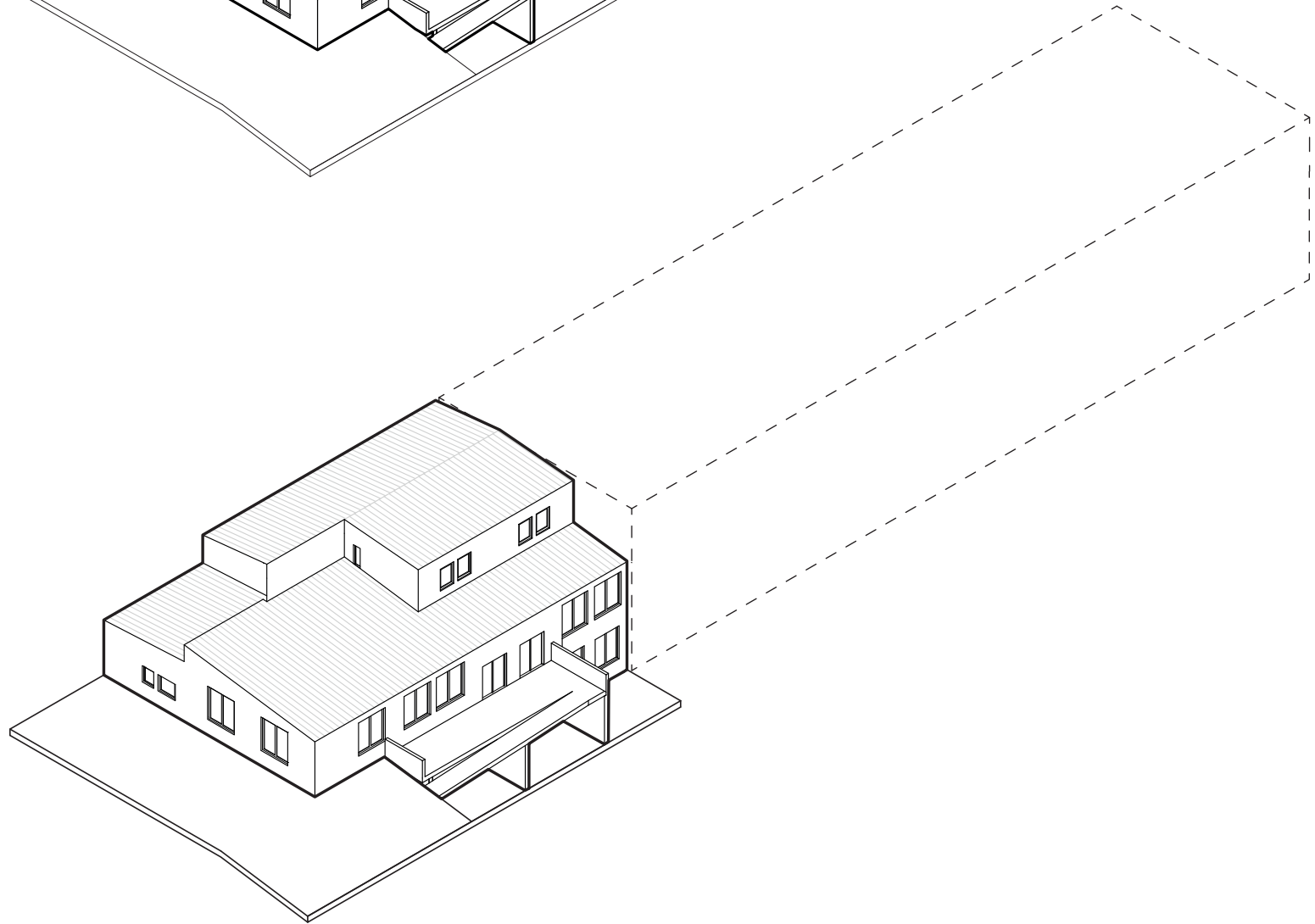
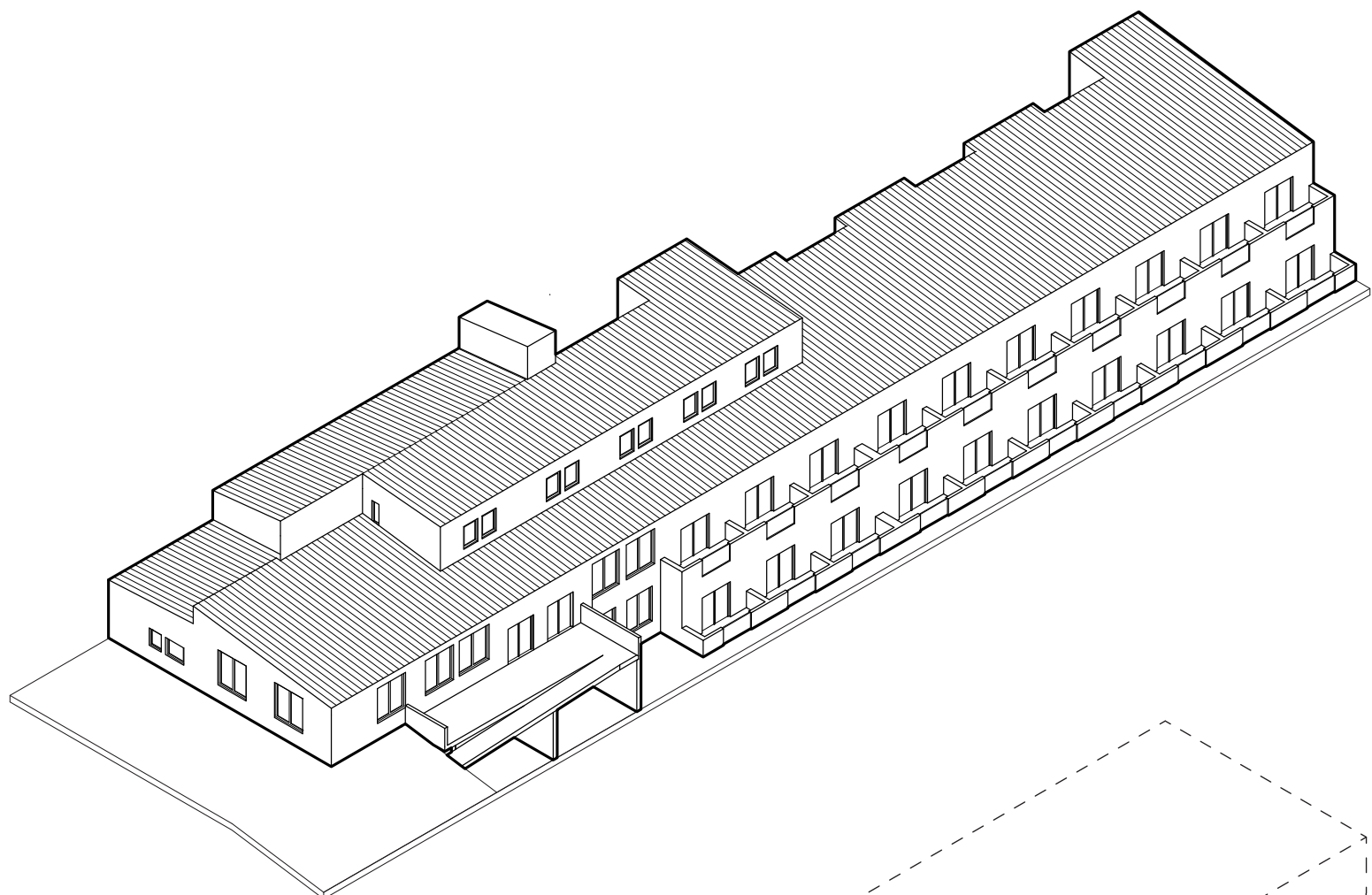


La seconda opzione si concentra invece sulla demolizione delle parti più critiche e sulla ricostruzione con sistemi costruttivi moderni, prevedendo il riutilizzo dei materiali derivanti dalla demolizione come riempimento e livellamento per ridurre l'impiego di nuovi materiali.

La nuova struttura sarà realizzata interamente in legno e poggerà su una soletta in calcestruzzo armato, con una struttura portante in legno lamellare e chiusure esterne costituite da pannelli prefabbricati in CLT che renderanno il montaggio rapido e funzionale. Questo nuovo corpo edilizio sarà collegato alla parte storica dell'edificio per mantenere un legame tra passato e presente e preservare la memoria storica.

Assonometria raffigurante la seconda soluzione in cui abbiamo una demolizione parziale e una successiva ricostruzione

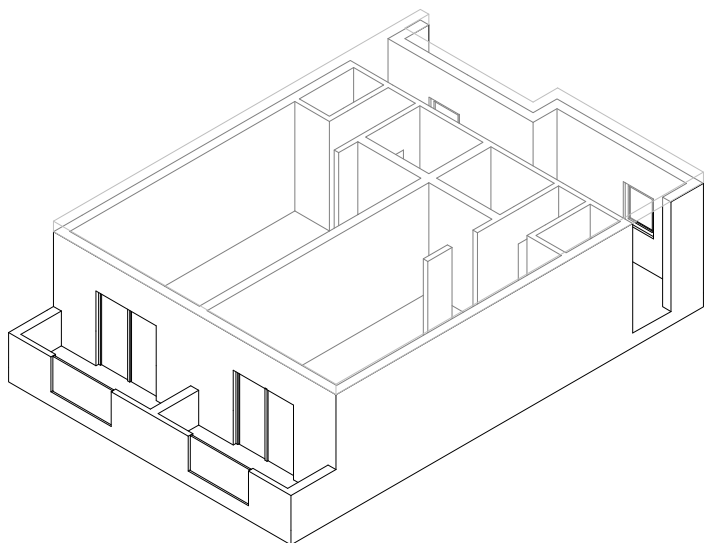




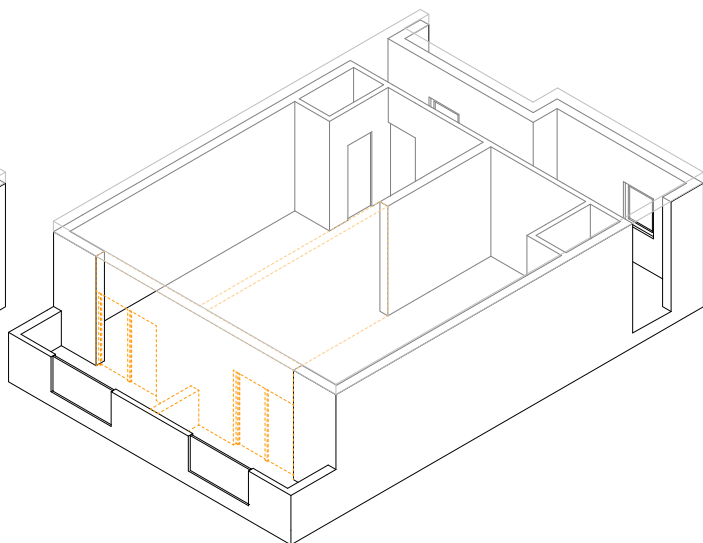
2.2 Conversione del fabbricato

Viene realizzato un elenco grafico di tutte le lavorazioni necessarie per la conversione delle vecchie stanze della casa albergo in future aule didattiche.

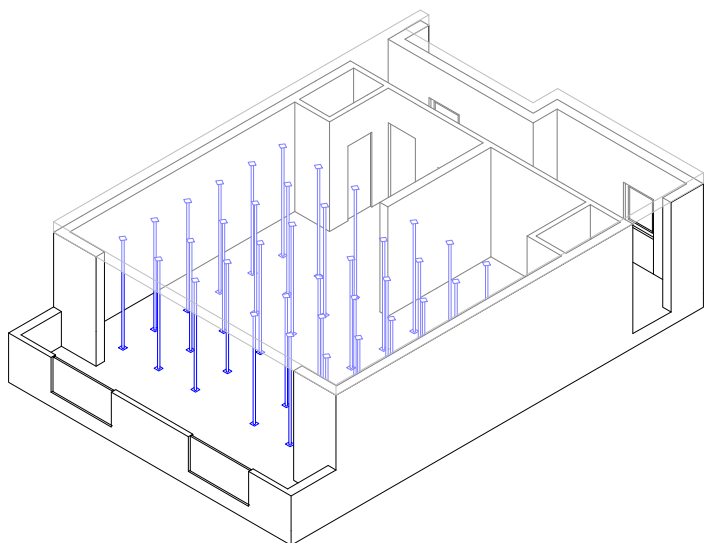
Axo 1_ Stato di fatto



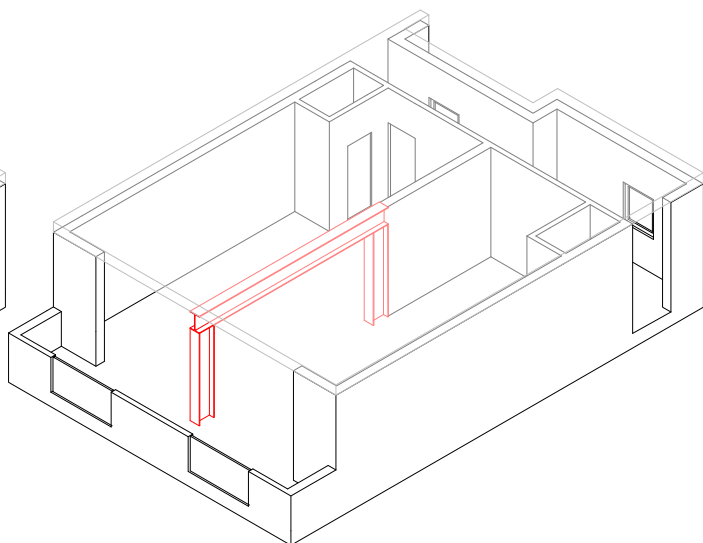
Axo 2_ Demolizione parziale



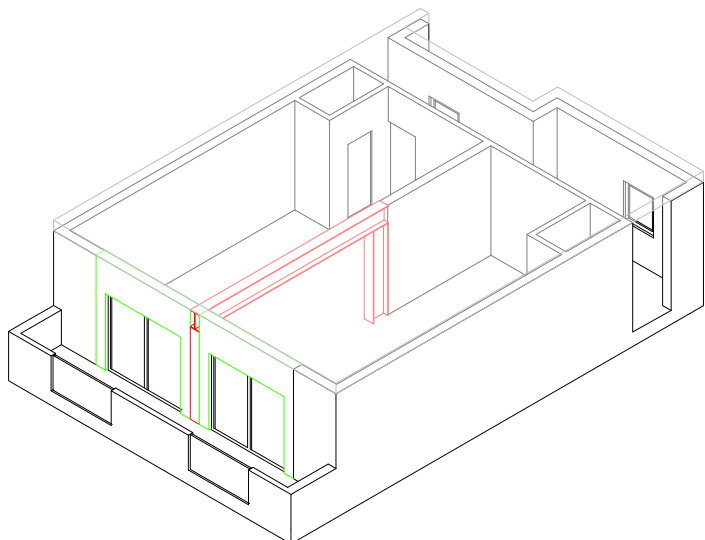
Axo 3_ Puntellamento del solaio



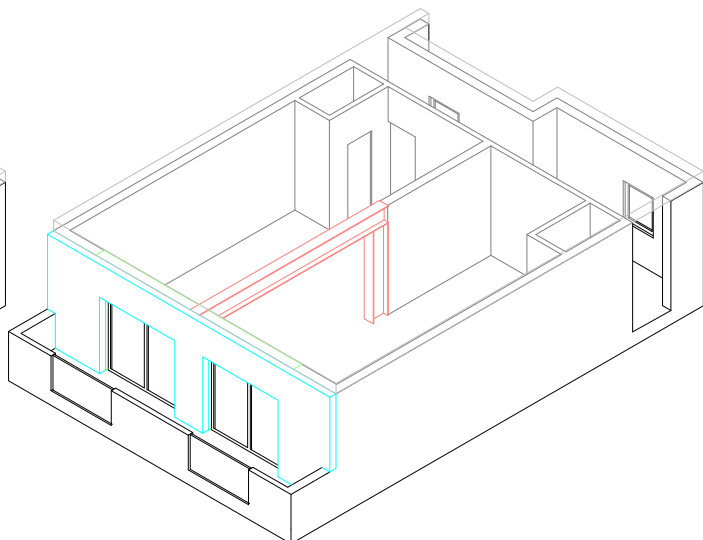
Axo 4_ Posizionamento elementi HEA



Axo 5_ Ricostruzione parete esterna



Axo 6_ Posizionamento isolante



Viene redatto il computo metrico estimativo, che comprende tutte le lavorazioni necessarie a trasformare in modo sostanziale il fabbricato, mantenendo come riferimento la struttura originale.

n°	Codice Prezziario	DESCRIZIONE LAVORAZIONE O FORNITURA	u.m.	parti uguali	DIMENSIONI			Quantità	Prezzo unitario	TOTALE
					lung.	larg.	alt.			
CATEGORIA LAVORAZIONE										
1	B ED EE 025 a	Profili tipo HE architrave, in acciaio di qualità S235 secondo la norma UNI 10025.	kg	1	6,00	155,00	1,00	930,00	2,2	2046,00
									totale	2046,00
2	B ED EE 025 a	Profili tipo HE pilastri, in acciaio di qualità S235 secondo la norma UNI 10025.	kg	2	3,15	155,00	1,00	976,50	2,2	2148,30
									totale	2148,30
3	D OD EE 005 a	Antiruggine al fosfato di zinco e resine sintetiche (nei colori bianco, grigio e rosso ossido) per applicazione su trave e pilastri	m²	1	1,80	4,00	1,00	7,20	8,8	63,36
				1	2,64	2,00	1,00	5,28	8,8	46,46
				2	0,95	4,00	1,00	7,56	8,8	66,53
				2	1,39	2,00	1,00	5,54	8,8	48,79
									totale	225,14
4	D RR CC 025 b	Esecuzione di puntellamento di volte e solai per rinforzo o demolizione parziale misurato in pianta per la superficie di volta o solaio puntellata, compresi ingabbiatura, controventatura e il successivo smantellamento; per altezza da 3 a 6 m	m²	1	7,60	2,20	2,00	33,44	96,07	3212,58
									totale	3212,58
5	D RR BB 005	Demolizione parziale o totale di murature di qualsiasi genere e forma. Qualunque ne sia la tenacità e la specie, entro o fuori terra, compreso il taglio secondo linee prestabilite, da eseguire a macchina con eventuali modesti interventi a mano, la cernita dei materiali utili che rimangono di proprietà dell'amministrazione per il loro reimpiego sui lavori ed il trasporto ed accatastamento nelle località scelte dalla direzione dei lavori, nonché il carico, trasporto e scarico a rifiuto dei materiali non utilizzabili. Volume calcolato vuoto nel caso per ogni piano di fabbricato.	m³	1	2,00	0,28	1,00	0,56	76,69	42,95
				1	0,72	3,10	1,00	2,22	76,69	170,41
									totale	213,36
6	C ED GG 005 a	Smaltimento di rifiuti derivanti da scavi, fresature e demolizioni varie escluso materiale contenente fibre di amianto, depositati in idonei siti autorizzati.	t	1	2,78	1,60	1,00	4,45	16	71,17
									totale	71,17
7	D AB AC 115 b	Nolo di autocarro con cassone ribaltabile munito di sovrastoppe secondo la richiesta della D.L., dotato di gru idraulica compreso autista, carburante, lubrificante ecologico, trasporto in loco ed ogni onere connesso per il tempo di effettivo impiego con Autocarro oltre 8 t; gru 1,1 t - allungo 5,50 m	h	1	1,00	1,00	1,00	1,00	81,04	81,04
									totale	81,04
8	D CA BB 005	Posa in opera di travi costruite fuori opera in c.a. o in c.a.p., per impalcati di ponti, viadotti, cavalcavia, ecc., di qualsiasi forma, compreso il loro sollevamento ed il posizionamento in opera a qualsiasi altezza, eseguito con qualsiasi sistema ed attrezzatura, compreso ogni noleggio, fornitura, prestazione ed onere. Solo esclusa la fornitura a piè d'opera delle travi, compensata a parte.	cad.	3	1,00	1,00	1,00	3,00	115	345,00
									totale	345,00
9	D ED GG 010 e	Fornitura e posa in opera di muratura in blocchi cavi prefabbricati in conglomerato cementizio e granulato d'argilla espansa eseguita con malta di cemento o bastarda, compresi i ponteggi fino a 4 m di altezza ed ogni altro onere per dare l'opera compiuta, spessore 25 cm	m²	1	2,00	0,28	1,00	0,56	80,41	45,03
				1	0,72	3,10	1,00	2,22	80,41	178,68
									totale	223,71
10	B AB KK 115	Lana di roccia in pannelli rigidi, rivestiti su un lato con foglio di carta kraft poltenata con funzione di freno al vapore, per isolamento termico e acustico di pareti e contropareti perimetrali isolati, aventi le seguenti caratteristiche: classe di reazione al fuoco A1, densità 70 kg/m³, dimensioni 1.200 x 600 mm, conduttività termica lambda 0,040 (dato di dichiarazione o certificazione ambientale di prodotto relativamente al contenuto di riciclato come richiesto dal D.M. 11/10/2017 paragrafo 2.4.2.9. 33 W/mK. 2 strati da 100 mm	m²	2	1,40	3,30	1,00	9,24	45,06	416,35
				2	2,00	1,20	1,00	4,80	45,06	216,29
				1	2,56	3,30	1,00	8,45	45,06	380,67
									totale	1013,31
11	D ED EE 010	Fornitura e posa in opera di pannelli semirigidi in lana di vetro resinati spessore 5 cm per la formazione di strati coibenti, pareti di densità 100 kg/m³, ogni altro onere compreso.	m²	2	1,40	3,30	1,00	9,24	11	101,64
				2	2,00	1,20	1,00	4,80	11	52,80
				1	2,56	3,30	1,00	8,45	11	92,93
									totale	247,37
12	D ED BB 005 a	Fornitura e posa in opera di intonaco per interni su pareti verticali, orizzontali e inclinate, eseguite a mano o a macchina tirato in perfetto piano costituito da rinzaffo e strato di finitura, ariccatura e stabilitura, inclusi i ponteggi fino a 4 m ed ogni altro onere in calce idraulica	m²	2	1,40	3,30	1,00	9,24	26,09	241,07
				2	2,00	1,20	1,00	4,80	26,09	125,23
				1	2,56	3,30	1,00	8,45	26,09	220,41
									totale	586,71
13	D ED BB 010	Fornitura in opera di intonaco per esterni su pareti verticali, orizzontali e inclinate, eseguita a mano o a macchina tirato in perfetto piano costituito da rinzaffo e strato di finitura, ariccatura e stabilitura, inclusi i ponteggi fino a 4 m, se già installati, ed ogni altro onere	m²	2	1,40	3,30	1,00	9,24	27,06	250,03
				2	2,00	1,20	1,00	4,80	27,06	129,89
				1	2,56	3,30	1,00	8,45	27,06	228,60
									totale	608,53
TOTALE CATEGORIA LAVORAZIONE										11022,21

Questa cifra si riferisce esclusivamente alla trasformazione di due stanze, per definire il valore complessivo, occorre moltiplicare il risultato per 10 unità, ottenendo così un totale di **110220 €**, relativo al solo adeguamento delle stanze in aule.

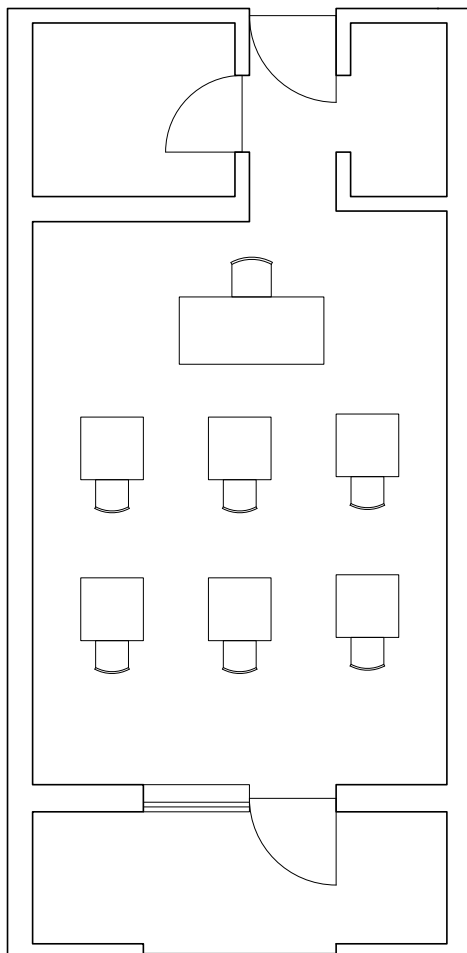
Ipotizzando un costo medio a metro quadro pari a 1500 €/mq (da Iperedilizia) per un totale tra i vari piani di 2256 m², arriviamo a definire che, $2256 \times 1500 = 3\,384\,000\text{€}$ a cui si devono sommare circa 512 000€ per la costruzione della palestra per via della impossibilità di utilizzare gli spazi già costruiti, si arriva ad = **3 896 000€** per circa 2575 mq di superficie totale

2.3 L'importanza di spazi scolastici versatili e adattivi

La scuola contemporanea non può più essere concepita come una sequenza di aule standard e corridoi. Le Linee guida MIUR per l'edilizia scolastica (2013) sottolineano la necessità di ambienti di apprendimento flessibili, capaci di accogliere diverse modalità didattiche: dalla lezione frontale ai laboratori, dal lavoro di gruppo alle attività individuali. In un contesto educativo sempre più orientato alla cooperazione, alla creatività e all'uso delle tecnologie digitali, gli spazi devono poter essere facilmente riconfigurati e attrezzati. Pareti mobili, arredi modulari e ambienti polivalenti consentono di trasformare rapidamente la disposizione interna, favorendo un apprendimento dinamico e inclusivo.

Questa evoluzione risponde anche a un'esigenza sociale: la scuola è oggi chiamata a essere luogo di comunità, aperto non solo agli studenti ma anche alle famiglie e al territorio. Spazi come biblioteche, palestre e laboratori devono quindi essere progettati per un utilizzo condiviso, rafforzando il legame tra istituzione scolastica e cittadinanza.

Tutto questo, però, risulta estremamente complesso da applicare all'interno della configurazione attuale dell'edificio. Come si può osservare nella disposizione originale, senza interventi significativi è praticamente impossibile ricavare delle



Conversione della stanza originale in aula scolastica senza effettuare nessuna operazione

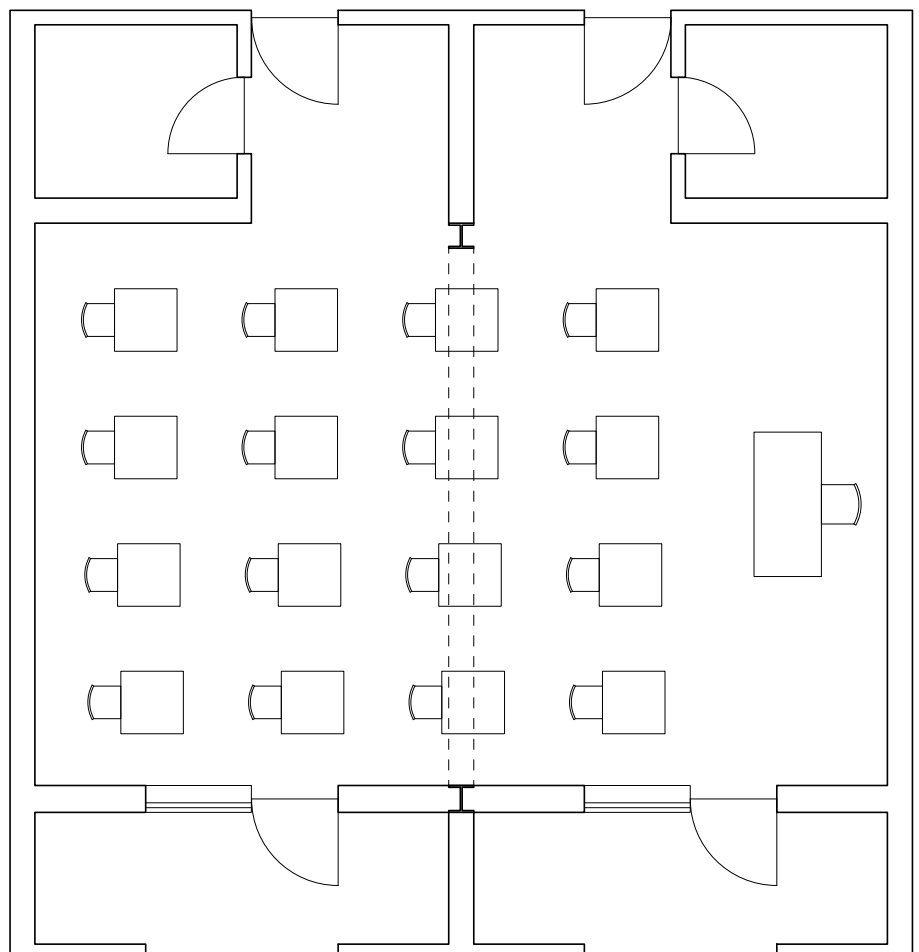


aule scolastiche funzionali: gli ambienti sarebbero troppo piccoli, con capienze ridotte e proporzioni inadatte alla didattica.

Attraverso le lavorazioni necessarie si riesce ad ottenere spazi che si avvicinano a dimensioni più adeguate, anche se rimangono comunque ambienti limitati e difficili da gestire. La capienza migliorerebbe rispetto alla situazione di partenza, ma non sarebbe ancora del tutto conforme alle esigenze di una scuola primaria moderna, come quella richiesta oggi dalla comunità di Ceva. Proprio questa criticità ha rappresentato il fulcro della scelta progettuale: si è deciso di procedere con l'operazione di allargamento, rimuovendo le tramezze interne e inserendo un elemento metallico capace di sostituire la funzione portante originaria. In questo modo si è potuto ottenere una maggiore apertura degli spazi e una distribuzione più razionale delle aule.

Nonostante ciò, anche in questa configurazione la versatilità rimarrebbe limitata, le possibilità di sperimentare nuove forme di apprendimento e di creare ambienti polivalenti sarebbero ridotte, poiché la struttura continuerebbe a risentire dei vincoli imposti dalla sua conformazione originaria. Resta comunque un'opzione tecnicamente valida, rispettosa dei criteri di sicurezza e conforme alle normative vigenti, ma non del tutto in linea con le esigenze di una scuola che e offrire spazi realmente innovativi e adattivi.

Camera tipo trasformata in aula scolastica effettuando l'operazione di trasformazione incisiva con il posizionamento di un elemento metallico in sostituzione della parete portante centrale



2.4 Demolizione parziale e costruzione del nuovo fabbricato

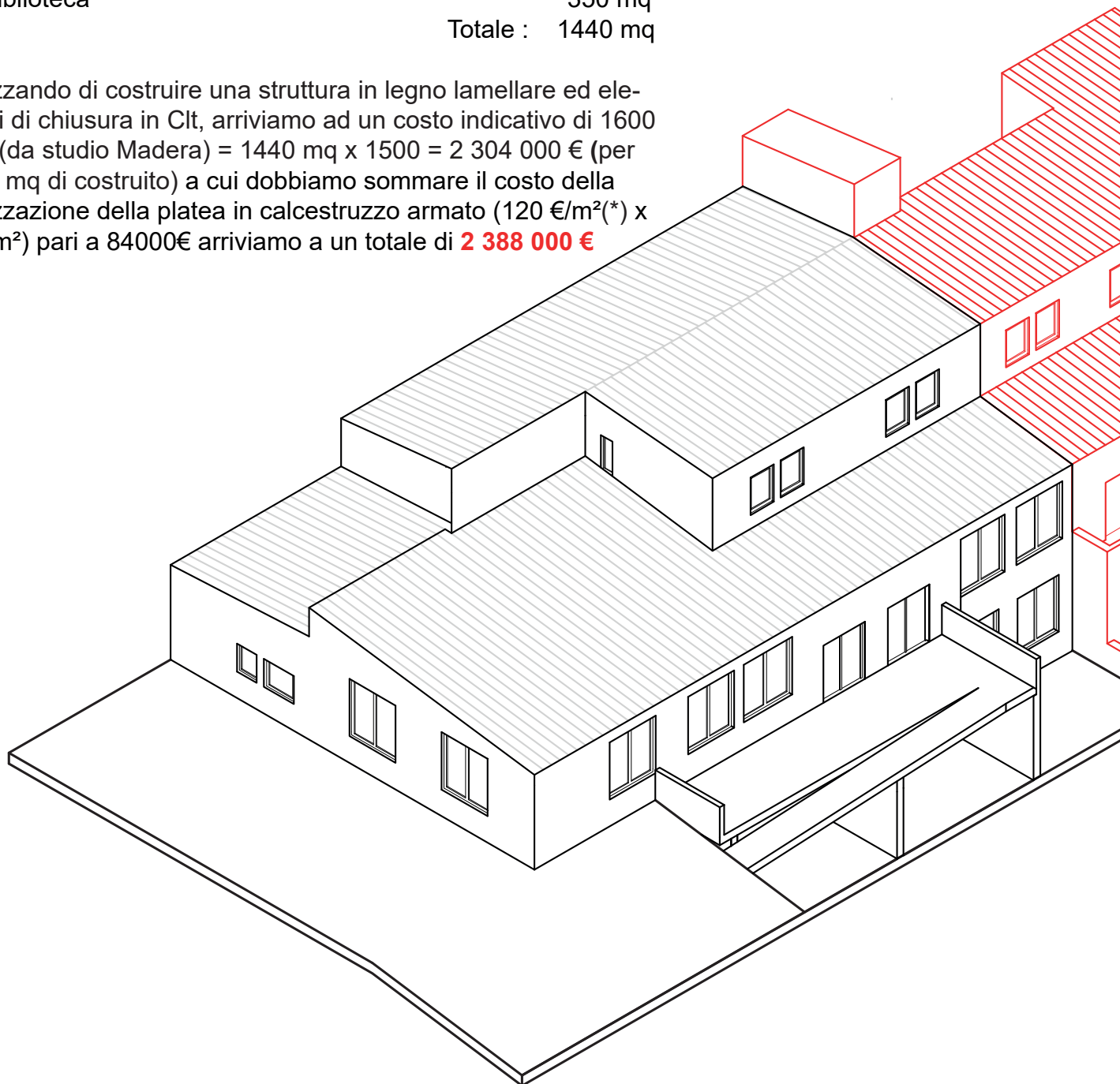
Vengono definite le dimensioni necessarie per accogliere il numero di studenti e di classi previsto. Le misurazioni, fornite direttamente dal manuale di riferimento, sono da considerarsi indicative ma comunque verificate e conformi alle normative vigenti.

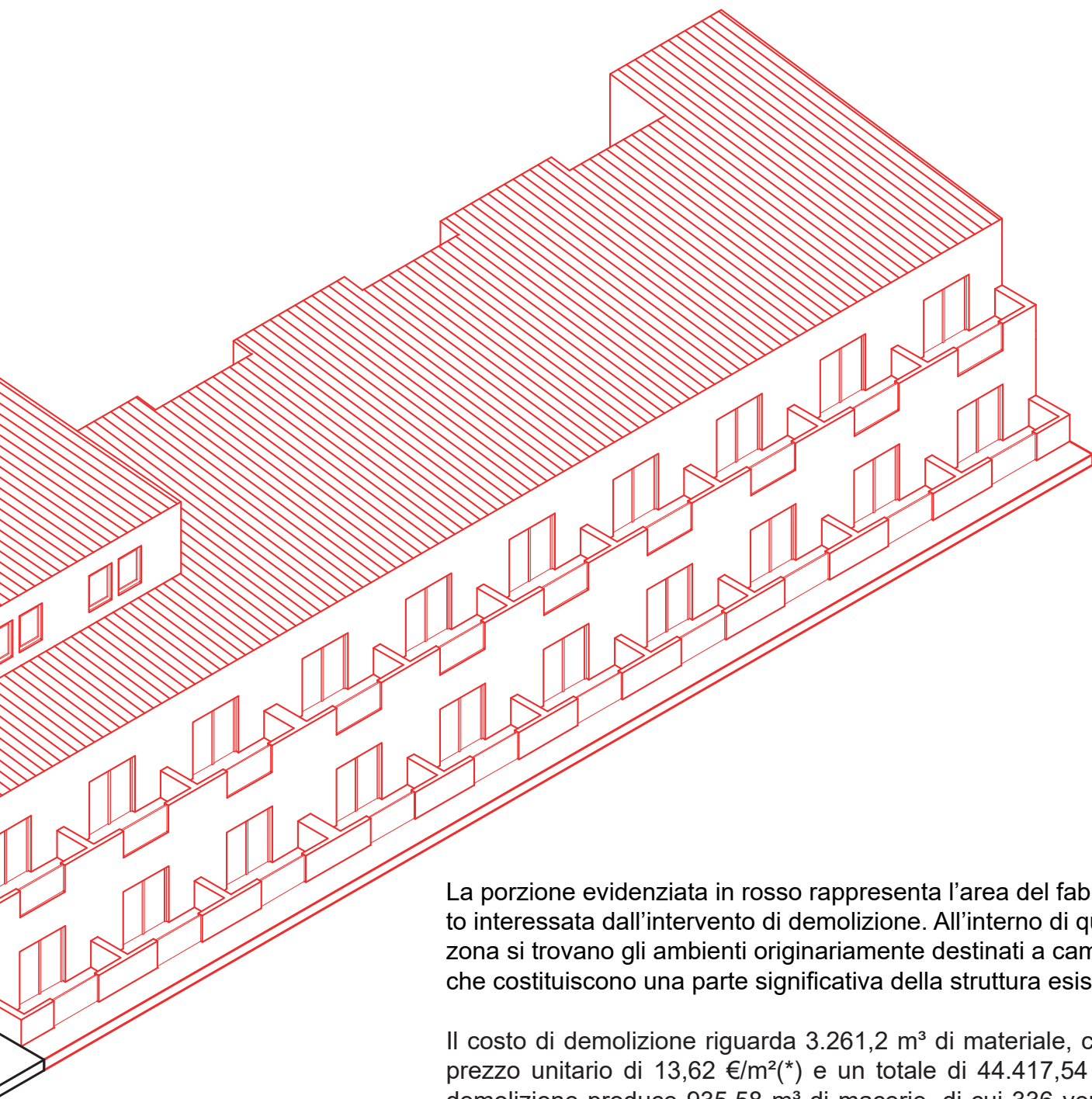
Ai fini dei calcoli, si ipotizza una nuova costruzione con uno sviluppo longitudinale di 70 metri, una larghezza di 10 metri e un'altezza interpiano di circa 4 metri.

Totale di 10 classi e 250 studenti

• Attività Didattiche normali	500 mq
• Attività interciclo	160 mq
• Attività integrative	100 mq
• Palestra	330 mq
• Biblioteca	350 mq
Totale :	1440 mq

Ipotizzando di costruire una struttura in legno lamellare ed elementi di chiusura in Clt, arriviamo ad un costo indicativo di 1600 €/mq (da studio Madera) = 1440 mq x 1500 = 2 304 000 € (per 2264 mq di costruito) a cui dobbiamo sommare il costo della realizzazione della platea in calcestruzzo armato (120 €/m²(*) x 700 m²) pari a 84000€ arriviamo a un totale di **2 388 000 €**





La porzione evidenziata in rosso rappresenta l'area del fabbricato interessata dall'intervento di demolizione. All'interno di questa zona si trovano gli ambienti originariamente destinati a camere, che costituiscono una parte significativa della struttura esistente.

Il costo di demolizione riguarda 3.261,2 m³ di materiale, con un prezzo unitario di 13,62 €/m²(*) e un totale di 44.417,54 €. La demolizione produce 935,58 m³ di macerie, di cui 336 vengono riutilizzati per il riempimento dopo frantumazione. Applicando una densità di 1,6 t/m³ si ottengono 537,6 t, lavorate in 13,44 ore con un frantoio da 40 t/h. Il noleggio della macchina per due giorni costa 1.100 €(*), a cui si aggiungono 456,96 €(*) per l'operatore, 268,80 € di carburante e 400 €(*) per mobilitazione, per un totale di 2.225,76 €. Restano 1.169 t di macerie da smaltire, con un costo di 16 €/t(*) pari a 18.704 €. La costruzione del nuovo edificio è stimata in 2.388.000 €, mentre la ristrutturazione degli 824 m² residui a 1.500 €/m²(da Iperedizia) comporta 1.236.000 €. Il costo complessivo dell'intervento ammonta quindi a **3.689.347,30 €**.

Tutte le voci seguite da questa indicazione (*), fanno riferimento a prezzi derivanti dal prezzario delle opere edili ed impiantistiche in Provincia di Cuneo del 2024

2.5 Dati di partenza

Per determinare quale delle due opzioni risulti più vantaggiosa dal punto di vista ambientale, è stato effettuato un calcolo delle emissioni di CO₂ prodotte nella fase di costruzione dei materiali. In particolare, si è iniziato stimando quanta CO₂ fosse già stata generata durante la realizzazione dell'edificio esistente, calcolando i volumi dei principali materiali impiegati. Successivamente, si è valutata la quantità di CO₂ che verrebbe prodotta nel caso di una ristrutturazione incisiva e, infine, si è stimata l'emissione derivante dalla demolizione parziale e dalla costruzione ex novo della nuova struttura.

Una volta ottenuti i valori di emissione, si è proceduto a confrontarli per individuare la soluzione più favorevole, tenendo sempre conto della CO₂ già generata nella costruzione del fabbricato attuale. Per calcolare la quantità di CO₂ si utilizza una formula semplice: una volta individuati i volumi dei materiali coinvolti, questi vengono moltiplicati per la densità specifica del materiale, ottenendo così i chilogrammi di materiale utilizzato. A questo punto, si moltiplica il peso per il fattore emissivo del materiale, valore reperito da una tabella fornita da Circular Ecology, società britannica specializzata in sostenibilità ambientale e analisi del carbonio incorporato nei materiali, con un forte impegno nella promozione dell'economia circolare.

Grazie ai loro studi, è possibile accedere a questi fattori emissivi, espressi in kgCO₂e/kg, che, moltiplicati per i chilogrammi di materiale necessario, restituiscono la quantità di CO₂ prodotta, espressa in tonnellate. Ripetendo questo procedimento per ciascun materiale e sommando i risultati finali, si ottiene il totale delle emissioni, che può essere positivo indicando un impatto ambientale oppure negativo, come nel caso del legno, che rappresenta un credito di carbonio. Questo accade perché il legno, durante la sua crescita, ha già assorbito una certa quantità di CO₂ che rimane stoccata nel materiale per tutta la sua vita utile.

Più elevato è il fattore emissivo, maggiore sarà l'impatto ambientale del materiale. L'obiettivo di questi calcoli è comprendere quali materiali si avvicinano maggiormente alla soglia dello zero, anche se per un edificio già costruito è praticamente impossibile raggiungere tale obiettivo. Infatti, per farlo sarebbe necessario sostituire in modo massiccio i materiali esistenti, operazione che equivarrebbe a una demolizione e che, in termini di CO₂ prodotta per la sostituzione, non verrebbe compensata dai crediti generati.

2.6 Emissioni CO₂ fabbricato originale

I dati relativi all'impronta di carbonio dei materiali da costruzione sono stati estratti dal database ICE (Inventory of Carbon & Energy), sviluppato da Circular Ecology. Il documento, attualmente curato da un team multidisciplinare con il contributo di enti come BCIS e Innovate UK. Le versioni consultate (ICE v4.0 e v4.1) includono valori medi di energia incorporata e emissioni di CO₂ per diverse tipologie di materiali. Il database è stato utilizzato come riferimento tecnico per la stima delle emissioni nel progetto di tesi.

Calcoliamo ora le emissioni di CO₂ già prodotte dal fabbricato originale, partendo dalla definizione delle volumetrie che sono state identificate grazie alla modellazione tridimensionale dell'edificio e alla successiva restituzione dei dati da parte del software, in particolare all'interno del fabbricato troviamo:

1. 950 mc di blocchi di calcestruzzo
 2. 116.6 mc di intonaco da superfici interne ed esterne
 3. 10.17 mc di porte in legno
 4. 4.51 mc di telai in alluminio
 5. 4.22 mc di vetri
 6. 950 mc di solai (6.1 570 mc di cls; 6.2 380 mc di pignatte)
 7. 86.65 mc di pannelli in ferro per la copertura
- Dopo aver definito le quantità possiamo passare ai calcoli usando la seguente formula:

$$m_{CO_2} = V \times \rho \times FE$$

1. ρ : 1600 kg/m³ FE: 0.115 kgCO₂e/kg
 m_{CO_2} : 950 x 1600 x 0.115 = 174800 kg = **174.8** t di CO₂

2. ρ : 1700 kg/m³ FE: 0.158 kgCO₂e/kg
 m_{CO_2} : 116.6 x 1700 x 0.158 = 31318.76 kg = **31.3** t di CO₂

3. ρ : 700 kg/m³ FE: -1.287 kgCO₂e/kg
 m_{CO_2} : 10.17 x 700 x (-1.287) = -9162.153 kg = **-9.162** t di CO₂

4. ρ : 2700 kg/m³ FE: 5.58 kgCO₂e/kg
 m_{CO_2} : 4.51 x 2700 x 5.58 = 67947.66 kg = **68** t di CO₂

5. ρ : 2500 kg/m³ FE: 1.656 kgCO₂e/kg
 m_{CO_2} : 4.22 x 2500 x 1.656 = 17470.8 kg = **17.5** t di CO₂

6.1. ρ : 2400 kg/m³ FE: 0.122 kgCO₂e/kg
 m_{CO_2} : 570 x 2400 x 0.122 = 166896 kg = **166.9** t di CO₂

6.2. ρ : 600 kg/m³ FE: 0.260 kgCO₂e/kg
 m_{CO_2} : 380 x 600 x 0.260 = 59280 kg = **59** t di CO₂

7. ρ : 7850 kg/m³ FE: 2.88 kgCO₂e/kg
 m_{CO_2} : 86.65 x 7850 x 2.88 = 1958983.2 kg = **1959** t di CO₂

Tot: 174.8+31.3-9.162+68+17.5+166.9+59+1959=**2467.338** t CO₂

2.7 Quantità di CO₂ rimanente della demolizione

Andiamo a calcolare la quantità di CO₂ che verrebbe coinvolta nel processo di demolizione. È importante chiarire che le emissioni già prodotte non si annullano con la demolizione, poiché una volta generate rimangono nell'atmosfera e non possono svanire. Questo calcolo viene comunque effettuato perché, in una fase successiva, sarà possibile valutare quanto materiale potrà essere riutilizzato e quindi quante emissioni si riusciranno a recuperare attraverso il riciclo dei materiali. Le quantità di materiale demolite sono:

1. 579 mc di blocchi di calcestruzzo
2. 70 mc di intonaco da superfici interne ed esterne
3. 7 mc di porte in legno
4. 2.25 mc di telai in alluminio
5. 2.42 mc di vetri
6. 590 mc di solai (6.1 354 mc di cls; 6.2 236 mc di pignatte)
7. 48.5 mc di pannelli in ferro per la copertura

Dopo aver definito le quantità possiamo passare ai calcoli usando la seguente formula:

$$m_{CO_2} = V \times \rho \times FE$$

1. ρ : 1600 kg/m³ FE: 0.115 kgCO₂e/kg
 m_{CO_2} : 579 x 1600 x 0.115 = 143592 kg = **143** t di CO₂

2. ρ : 1700 kg/m³ FE: 0.158 kgCO₂e/kg
 m_{CO_2} : 70 x 1700 x 0.158 = 18802 kg = **18** t di CO₂

3. ρ : 700 kg/m³ FE: -1.287 kgCO₂e/kg
 m_{CO_2} : 7 x 700 x (-1.287) = -6306.3 kg = **-6.3** t di CO₂

4. ρ : 2700 kg/m³ FE: 5.58 kgCO₂e/kg
 m_{CO_2} : 2.25 x 2700 x 5.58 = 33898.5 kg = **33.9** t di CO₂

5. ρ : 2500 kg/m³ FE: 1.656 kgCO₂e/kg
 m_{CO_2} : 2.42 x 2500 x 1.656 = 10018.8 kg = **10** t di CO₂

6.1. ρ : 2400 kg/m³ FE: 0.122 kgCO₂e/kg
 m_{CO_2} : 354 x 2400 x 0.122 = 103651.2 kg = **103.6** t di CO₂

6.2. ρ : 600 kg/m³ FE: 0.260 kgCO₂e/kg
 m_{CO_2} : 263 x 600 x 0.260 = 36816 kg = **36.8** t di CO₂

7. ρ : 7850 kg/m³ FE: 2.88 kgCO₂e/kg
 m_{CO_2} : 48.5 x 7850 x 2.88 = 1096488 kg = **1096** t di CO₂

Tot: 143+18-6.3+33.9+10+103.6+36.8+1096=1435 t CO₂
Tot di CO₂ in parte rimanente: 2467.338-1435= **1032.338** t di Co₂

2.8 Quantità di CO₂ recuperata dalla demolizione

I dati relativi all'impronta di carbonio dei materiali da costruzione sono stati estratti dal database ICE (Inventory of Carbon & Energy), sviluppato da Circular Ecology. Il documento, attualmente curato da un team multidisciplinare con il contributo di enti come BCIS e Innovate UK. Le versioni consultate (ICE v4.0 e v4.1) includono valori medi di energia incorporata e emissioni di CO₂ per diverse tipologie di materiali. Il database è stato utilizzato come riferimento tecnico per la stima delle emissioni nel progetto di tesi.

Non tutte le macerie derivanti dalla demolizione vengono smaltite, è possibile ipotizzare che una parte venga recuperata, frantumata e successivamente riutilizzata come riempimento e base di appoggio per la nuova struttura. Questo tipo di fabbricato demolito produce macerie particolarmente adatte, poiché costituite principalmente da elementi in calcestruzzo e intonaco. In caso di frantumazione, tali materiali risultano ideali per essere impiegati come livellante.

Saranno quindi calcolate le quantità di macerie necessarie per il livellamento, al fine di determinare quanta CO₂ possa essere sottratta al totale delle emissioni dell'edificio. Infatti, essendo stato demolito e i suoi scarti riutilizzati, si può ipotizzare una riduzione delle emissioni complessive: se non fossero stati riutilizzati, le emissioni sarebbero rimaste pari alla somma totale, mentre il loro impiego consente di scaltarle dal computo finale. Definiamo adesso le quantità di macerie prodotte dalla demolizione:

Piano terra : $100.44+18.91+40+54.28= 213.63$ mc

Piano primo: $54.28+85.56+18.91+40= 198.75$ mc

Solai: $147+376.2= 523.2$ mc

Tot: $213.63+198.75+523.2 = 935.58$ mc

Ipotizzando di utilizzare come misura il dato corrispondente a 1.8t/mc, troviamo un totale di $935.58 \times 1.8 = 1684.044$ t

Per la realizzazione del riempimento con materiali recuperati dalla demolizione, consideriamo un rettangolo di dimensioni 80 m x 12 m con uno spessore di 35 cm. Questo volume corrisponde a 336 m³ di materiale necessario per il riempimento.

Confrontando tale valore con il volume complessivo di riferimento (935,58 m³), si ottiene che i 336 m³ rappresentano circa il 35,9% del totale. Applicando questa percentuale alla quantità di CO₂ associata alla demolizione (1435 t), si ricavano 515 t di CO₂ che vengono "recuperate" grazie al riutilizzo delle macerie per le operazioni di livellamento e riempimento.

Di conseguenza, sottraendo tale valore dal totale delle emissioni dovute alla demolizione ($1435 - 515 = 920$ t di CO₂), si ottiene il nuovo valore delle emissioni iniziali relative alla parte di fabbricato demolito, che passano da 1435 t a **920** t di CO₂.

2.9 Quantità di CO₂ prodotta dalla nuova costruzione

Cerchiamo di definire le quantità di materiale necessarie per la costruzione della nuova parte di fabbricato e, successivamente, la CO₂ prodotta dalla loro realizzazione. L'analisi viene suddivisa in base alle principali componenti costruttive: la platea in calcestruzzo, le pareti realizzate con elementi in CLT, la struttura portante in legno lamellare e l'isolamento in fibra di legno.

1. Elementi il CLT

Pareti esterne: $((70 \times 8) \times 2) + ((10 \times 8) \times 2) = 1120 + 160 = 1280 \text{ m}^2$

Usando della pareti da 35 cm = $1280 \times 0.35 = 448 \text{ m}^3$

Usiamo una riduzione per la presenza della finestrate esterne pari al 30% del totale = $448 \times 30\% = 313.6 \text{ m}^3$

Solai: $700 \times 3 = 2100 \text{ m}^2$

usando uno spessore di 25 cm = $2100 \times 0.25 = 525 \text{ m}^3$

2. Elementi il lamellare

Usiamo una struttura a telaio di 10 m a e alta 4 m con una sezione della travi pari a 30 cm x 30 cm e della travi di 70 cm x 30 cm $(4 \times 0.3 \times 0.3) \times 2 + (10 \times 0.7 \times 0.3) = 2.82 \text{ m}^3$ per ogni telaio, abbiamo un totale di 14 elementi per piano, quindi

$(2.82 \times 14) \times 2 = 78.96 \text{ m}^3$

3. Platea

Usando una dimensioni di 75 x 12 = 900 m^2 con uno spessore di 40 cm, $900 \times 0.4 = 360 \text{ m}^3$, per l'armature(3.2) usiamo un valore pari a 50 kg/m², arriviamo a $900 \times 50 = 45000 \text{ kg}$

4. Isolante in fibra di legno

Usiamo dei pannelli con spessore di 15 cm, $1280 \times 0.15 = 128 \text{ m}^3$ a cui togliamo il 30% per la aperture, $128 - 30\% = 89.6 \text{ m}^3$

Dopo aver definito le quantità possiamo passare ai calcoli usando la seguente formula:

$$m_{CO_2} = V \times \rho \times FE$$

1. ρ : 450 kg/m³ FE: -1.39 kgCO₂e/kg
 m_{CO_2} : $838.6 \times 450 \times (-1.39) = -524370 \text{ kg} = \mathbf{-524.37 \text{ t di CO}_2}$

2. ρ : 500 kg/m³ FE: -1.13 kgCO₂e/kg
 m_{CO_2} : $78.96 \times 500 \times (-1.13) = -44522 \text{ kg} = \mathbf{-44.522 \text{ t di CO}_2}$

3.1 ρ : 2400 kg/m³ FE: 0.134 kgCO₂e/kg
 m_{CO_2} : $360 \times 2400 \times 0.134 = 115776 \text{ kg} = \mathbf{115.776 \text{ t di CO}_2}$

3.2 45000kg FE: 1.72 kgCO₂e/kg
 m_{CO_2} : $45000 \times 1.72 = 77400 \text{ kg} = \mathbf{77.4 \text{ t di CO}_2}$

4. ρ : 160 kg/m³ FE: 1.250 kgCO₂e/kg
 m_{CO_2} : $89.6 \times 160 \times 1.250 = 17870 \text{ kg} = \mathbf{17.87 \text{ t di CO}_2}$

Abbiamo quindi un totale di:

$-524.37 - 44.522 + 17.87 + 115.776 + 77.4 = \mathbf{-357.876 \text{ t di CO}_2}$

2.10 Quantità di CO₂ prodotta dalla manutenzione incisiva

I dati relativi all'impronta di carbonio dei materiali da costruzione sono stati estratti dal database ICE (Inventory of Carbon & Energy), sviluppato da Circular Ecology. Il documento, attualmente curato da un team multidisciplinare con il contributo di enti come BCIS e Innovate UK. Le versioni consultate (ICE v4.0 e v4.1) includono valori medi di energia incorporata e emissioni di CO₂ per diverse tipologie di materiali. Il database è stato utilizzato come riferimento tecnico per la stima delle emissioni nel progetto di tesi.

Andiamo ora ad analizzare le quantità di CO₂ che verrebbero generate nella fase di costruzione necessaria per realizzare l'operazione di trasformazione incisiva, finalizzata a riorganizzare le aule con spazi adeguati e funzionali. Le quantità di materiale sono state individuate dopo aver effettuato un computo metrico estimativo, riferito sia alle quantità che al tipo di lavorazioni necessarie per poter svolgere correttamente le operazioni di trasformazione. A tal fine vengono quindi definite le seguenti quantità di materiali da impiegare:

1. 2.78 mc di blocchi di calcestruzzo
2. 0.89 mc di intonaco esterno ed interno
3. 2.249 mc di pannelli in fibra di vetro
4. 1906.5 kg di elementi metallici HEA

Dopo aver definito le quantità possiamo passare ai calcoli usando la seguente formula:

$$m_{CO_2} = V \times \rho \times FE$$

1. ρ : 1600 kg/m³ FE: 0.115 kgCO₂e/kg
 m_{CO_2} : 2.78 x 1600 x 0.115 = 511.52 kg = **0.5** t di CO₂

2. ρ : 1700 kg/m³ FE: 0.158 kgCO₂e/kg
 m_{CO_2} : 0.89 x 1700 x 0.158 = 239.054 kg = **0.23** t di CO₂

3. ρ : 120 kg/m³ FE: 1.533 kgCO₂e/kg
 m_{CO_2} : 2.249 x 120 x 1.533 = 413.72 kg = **0.4** t di CO₂

4. 155 kg/m FE: 1.61 kgCO₂e/kg
 m_{CO_2} : 1906.5 x 1.61 = 3069.46 kg = **3** t di CO₂

Tot: 0.5+0.23+0.4+3= 4.13 t di CO₂

Questa quantità di carbonio si riferisce esclusivamente alla conversione di una singola stanza; tuttavia, considerando che nel complesso le stanze da trasformare sono dieci, per ottenere le emissioni complessive è necessario moltiplicare il valore unitario per dieci: 4.13 x 10= **41.3** t di CO₂

2.11 Conservazione e trasformazione totale del fabbricato

A livello economico, per l'operazione di conservazione e adattamento sostanziale del fabbricato si stima un costo complessivo indicativo pari a **3.896.000 €**, calcolato sulla base di un valore medio di ristrutturazione di circa 1.500 €/m². Tale cifra tiene conto non solo delle lavorazioni principali, ma anche delle spese accessorie legate alla gestione del cantiere e alla sicurezza. È importante sottolineare che, trattandosi di un intervento di ristrutturazione profonda e strutturale, esiste la possibilità di imbattersi in problematiche impreviste durante le lavorazioni, come ad esempio difetti nascosti nelle strutture esistenti o la necessità di adeguamenti normativi, i quali potrebbero determinare un incremento significativo del prezzo finale rispetto alla stima iniziale.

Per quanto riguarda invece l'aspetto ambientale e le emissioni di CO₂, un intervento di ristrutturazione così incisivo può essere valutato facendo riferimento agli studi del progetto "Building Entopia" – ricerca curata dal CISL (Università di Cambridge) che documenta il retrofit ultra-sostenibile dell'edificio Entopia, trasformato in un modello internazionale di architettura verde e circolare. Secondo i dati riportati nello studio, una ristrutturazione di questo tipo comporterebbe un'emissione indicativa di circa 130 kgCO₂/m². Applicando tale valore alla nostra superficie di 2.256 m² da ristrutturare, si ottiene un totale di circa 293 tonnellate di CO₂. A queste vanno sommate le emissioni già prodotte in fase di costruzione e fabbricazione dei materiali, pari a 2.467,328 tonnellate, che riflettono l'impatto delle filiere produttive e del trasporto. Ne risulta quindi un valore complessivo stimato di circa **2.760 t** di CO₂, che rappresenta l'impatto totale dell'intervento e fornisce un quadro chiaro delle conseguenze ambientali di un'operazione di tale portata.

■ Conservazione e trasformazione

Quantità di Co₂ generata



Costo complessivo



Versatilità spazi



Durata materiali



Efficienza energetica



Uso materiali sostenibili



Manutenzione futura



2.12 Demolizione parziale e nuova costruzione

A livello economico, per la realizzazione del nuovo edificio è necessario considerare diversi fattori che incidono sul costo complessivo. In primo luogo occorre calcolare le spese legate alla demolizione, allo smaltimento dei rifiuti e alla frantumazione degli elementi che verranno riutilizzati per il livellamento della struttura. Successivamente bisogna includere il costo della nuova costruzione, suddiviso tra la platea di fondazione e l'elevato, realizzato con legno lamellare per la parte portante e con pannelli in CLT (Cross Laminated Timber) per gli elementi di chiusura. Infine, va considerato anche l'intervento di ristrutturazione della porzione di fabbricato rimasta, che contribuisce in modo significativo al totale. Tenendo conto di tutte queste voci di spesa, si arriva a un costo finale complessivo pari a **3.689.347,304 €**.

Dal punto di vista ambientale, l'analisi delle emissioni di CO₂ richiede una valutazione attenta delle diverse fasi del progetto. Considerando la parte demolita e riutilizzata insieme alla nuova costruzione, si registra un valore di -357,876 t di CO₂. A questo dato va aggiunto l'impatto derivante dalla ristrutturazione della porzione di edificio esistente, stimato in 107 t. Tale valore è stato calcolato utilizzando il parametro fornito dallo studio di Cambridge sul progetto "Building Entopia", riporta che un'operazione di ristrutturazione comporti mediamente circa 130 kgCO₂/m². Applicando questo coefficiente alla superficie di 824 m² si ottiene il dato riportato.

Occorre inoltre sommare le emissioni legate alla demolizione e al riutilizzo delle macerie, pari a 920 t, e quelle relative alla parte non demolita, stimate in 1.032 t. Effettuando la somma finale dei valori si ottiene un totale di **1.702 t** di CO₂, che rappresenta l'impatto ambientale complessivo dell'intervento.

Demolizione e nuova costruzione



2.13 Quale strada scegliere?

Dopo aver analizzato in modo approfondito tutte le casistiche e valutato i risultati ottenuti, si è deciso di optare per la soluzione che prevede una demolizione parziale seguita dalla costruzione di un nuovo fabbricato. La scelta è stata guidata principalmente da considerazioni ambientali, poiché questa opzione consente di ridurre le emissioni e al tempo stesso incrementa in maniera significativa le possibilità di utilizzo degli spazi. Non si è ritenuto opportuno procedere con una demolizione totale, dal momento che alcune parti dell'edificio esistente risultano idonee ad accogliere funzioni importanti della futura



scuola, come la mensa e gli uffici. Inoltre, mantenere una porzione della struttura permette di preservare almeno in parte il valore storico e visivo dell'edificio, contribuendo a conservare la memoria del luogo e la continuità con l'edilizia preesistente. Questa soluzione apre la strada a nuove opportunità e consente al fabbricato di diventare un simbolo non solo architettonico, ma anche funzionale. La sfida ora consiste nell'individuare una forma e un elemento di collegamento capace di integrare armoniosamente le due parti che resteranno all'interno dell'area di intervento.



3.1 La scuola di Hetenitty

In questa ricerca l'università di Tampere ha effettuato una ricerca su un edificio esistente ed è andata a valutare quale fosse l'opzione energeticamente più vantaggiosa per esso, in particolare se andare a effettuare una ristrutturazione oppure se demolire e ricostruire totalmente il fabbricato. In particolare troviamo nello scritto che l'opzione della ristrutturazione profonda emerge come la strategia più efficace per contenere le emissioni nell'immediato.

Questo intervento prevede il risanamento completo dell'involucro e della copertura dell'edificio, generando un impatto iniziale relativamente contenuto perché sfrutta la struttura già esistente, evitando così la produzione di nuovo cemento o acciaio in grandi quantità. Al contrario, la scelta di demolire l'esistente per costruire un nuovo edificio in calcestruzzo provoca un massiccio rilascio di anidride carbonica fin dal primo giorno, un fenomeno definito dagli autori come picco di carbonio, che risulta essere più del doppio rispetto a quello della ristrutturazione. Anche l'ipotesi di ricostruire utilizzando il legno, pur essendo una soluzione tecnicamente più avanzata e dotata di una efficienza energetica superiore del trenta per cento, non riesce a ribaltare il verdetto ambientale nel breve periodo.

Analizzando i dati, lo studio indica che la ristrutturazione profonda, definita come scenario R1, comporta un'emissione iniziale di 202 kgCO_{2e}/m², raggiungendo un totale di **972 kgCO_{2e}/m²** nell'arco di cinquant'anni. Al contrario, la demolizione e ricostruzione in calcestruzzo, lo scenario N1, presenta un impatto iniziale molto più pesante di 491 kgCO_{2e}/m², arrivando a un totale di **1039 kgCO_{2e}/m²** nel lungo periodo. Una soluzione intermedia è rappresentata dallo scenario N2, ovvero la costruzione in legno: qui il picco iniziale è di 366 kgCO_{2e}/m², ma grazie all'efficienza dei materiali, il dato totale a cinquant'anni scende a **955 kgCO_{2e}/m²**, risultando sulla carta l'opzione più performante sulla lunghissima distanza.

Questi numeri mostrano che, sebbene la ristrutturazione emerga come la strategia più efficace per contenere le emissioni nell'immediato, una nuova costruzione ben progettata, specialmente se realizzata con materiali sostenibili come il legno, possiede il potenziale per avvicinarsi e persino superare i vantaggi ambientali del recupero nel lunghissimo periodo. Tuttavia, il beneficio derivante dai minori consumi operativi di una scuola moderna impiega circa quarant'anni per compensare l'impronta ecologica generata dai nuovi materiali e dalle operazioni di cantiere.

In conclusione, secondo tale ricerca, poiché gli obiettivi climatici internazionali richiedono riduzioni drastiche delle emissioni entro il prossimo decennio, il mantenimento e il miglioramento degli

edifici esistenti risultano preferibili alla loro sostituzione integrale; ciò accade in quanto, allo stato attuale delle tecnologie, la nuova costruzione non garantisce un recupero del debito di carbonio in tempi abbastanza rapidi da essere compatibili con l'emergenza ambientale in corso, nonostante le sue elevate prestazioni energetiche future.

Vista esterna dell'edificio

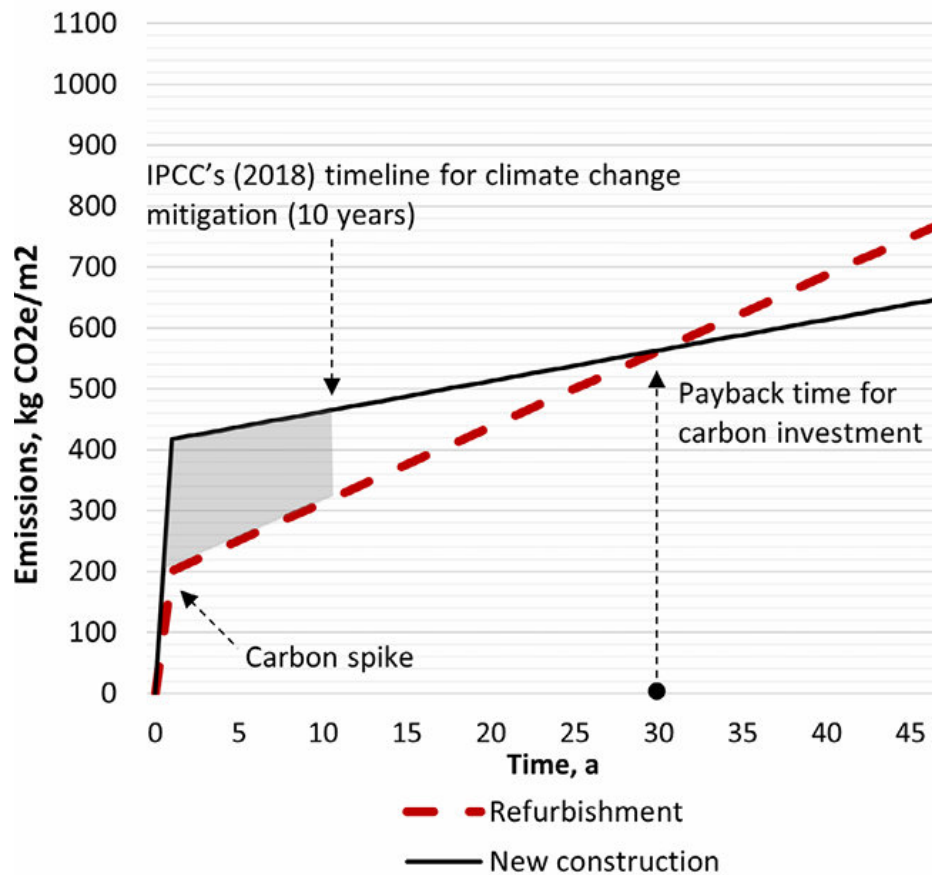


Grafico comparativo delle emissioni di CO₂ tra nuove costruzioni e ristrutturazioni nel tempo

3.2 L'edificio ad Argelato

Questa ricerca è focalizzata sull'individuazione della soluzione più appropriata per il recupero e la valorizzazione di un vecchio complesso di edifici rurali situato in un'area ormai abbandonata nel Comune di Argelato, in provincia di Bologna. Lo studio si concentra sull'analisi comparativa delle alternative possibili, valutando quale intervento risulti più vantaggioso dal punto di vista ambientale: procedere con una ristrutturazione degli edifici esistenti oppure optare per la demolizione seguita da una nuova ricostruzione.

L'obiettivo iniziale della ricerca era quello di misurare l'impatto ambientale, espresso come Global Warming Potential (GWP), confrontando un intervento di recupero conservativo con uno scenario di demolizione e ricostruzione basato sui principi dell'economia circolare.

Nello scenario della ristrutturazione, le operazioni si sono concentrate sul consolidamento e l'efficientamento dell'esistente attraverso l'uso di materiali come malte cementizie per il rinforzo strutturale, l'integrazione di isolanti termici e l'installazione di nuovi infissi in legno o alluminio a taglio termico. Tuttavia, la natura stessa dell'edificio e i suoi vincoli storico-documentali hanno limitato l'uso di tecnologie circolari, costringendo i progettisti a utilizzare materiali tradizionali che, pur migliorando l'efficienza energetica operativa, mantengono un alto carico di carbonio incorporato difficile da abbattere.

Al contrario, lo scenario di demolizione e ricostruzione è stato impostato su una metodologia radicalmente diversa che parte dalla demolizione selettiva, un'operazione che permette di separare accuratamente materiali preziosi come il laterizio originale, il legno delle travi e i metalli, pronti per essere reimmessi nel ciclo produttivo. La fase di ricostruzione ha poi previsto l'impiego di materiali innovativi e componenti edilizi preassemblati che incorporano elevate percentuali di materia prima seconda, come pannelli isolanti derivati da fibre riciclate e strutture progettate secondo il principio del "Design for Disassembly", che garantisce la futura recuperabilità di ogni singolo elemento senza produrre rifiuti.

Le conclusioni del testo supportano in modo inequivocabile l'idea che l'operazione di demolizione e ricostruzione "paghi" maggiormente sotto il profilo ambientale perché la libertà progettuale consente di ottimizzare l'intero organismo edilizio sin dalla sua genesi. Mentre nella ristrutturazione si è vincolati a una struttura obsoleta che richiede continui compromessi tecnologici, la ricostruzione circolare permette di azzerare le inefficienze strutturali e di utilizzare materiali di nuova generazione che compensano rapidamente l'impatto della demolizione grazie a una drastica riduzione del carbonio incorporato.

In definitiva, lo studio dimostra che la capacità di riciclare i detriti e di impiegare materiali con un ciclo di vita chiuso rende la sostituzione edilizia la strategia più efficace per minimizzare le emissioni complessive, offrendo un supporto scientifico fondamentale alla tesi che, per raggiungere la neutralità carbonica entro le scadenze climatiche, il rinnovo integrale e circolare rappresenta spesso una soluzione più lungimirante rispetto alla conservazione forzata di edifici non più performanti.

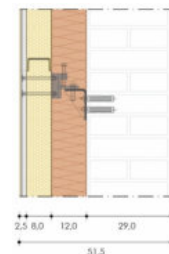
Vista dell'area di intervento e del masterplan di progetto



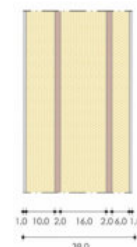
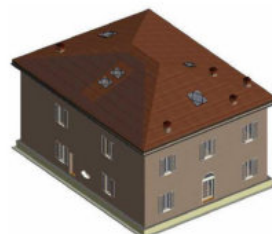
Vista del fabbricato rurale nelle condizioni analizzate



Rappresentazione del risultato finale effettuando la ristrutturazione del fabbricato



Rappresentazione del risultato finale effettuando la demolizione e ricostruzione del fabbricato



3.3 L'edificio multifamiliare ad Umeå

Lo studio condotto dall'Università di Umeå si focalizza su un archetipo edilizio fondamentale per il panorama urbano svedese: i complessi residenziali del "Miljonprogrammet" (Programma Milione). Si tratta di edifici multipiano costruiti tra il 1965 e il 1974 per rispondere alla crisi abitativa dell'epoca, caratterizzati da strutture massicce in cemento armato precompresso, estetica funzionalista e, oggi, un'estrema necessità di aggiornamento energetico.

Il caso studio specifico riguarda un tipico blocco residenziale situato a Umeå, nel quartiere Melonen, un fabbricato che rappresenta la sfida climatica per eccellenza: decidere se conservare questi giganti di calcestruzzo o rimpiazzarli con strutture moderne in linea con gli obiettivi di neutralità carbonica del 2045.

Nello scenario della ristrutturazione profonda, l'operazione è stata concepita per minimizzare l'impatto ambientale sfruttando l'inerzia e la solidità del telaio esistente. Le operazioni tecniche sono state meticolose: la struttura portante in calcestruzzo (fondazioni, pilastri e solette) è stata interamente mantenuta, evitando così la demolizione e il conferimento in discarica di tonnellate di materiale. Per trasformare l'edificio in una struttura moderna, è stato rimosso il vecchio rivestimento esterno per far posto a un nuovo strato isolante in lana di roccia ad alta densità (spessore 100 mm), sigillato da una nuova cortina di mattoni che ne preserva l'estetica migliorandone la protezione dagli agenti atmosferici. Sul tetto è stato integrato un isolamento aggiuntivo e tutti i vecchi infissi, responsabili delle maggiori dispersioni termiche, sono stati sostituiti con serramenti a triplo vetro con bassi valori di trasmittanza. Questa strategia ha permesso di contenere le emissioni di CO₂ a soli 106 kgCO₂/m², poiché l'energia contenuta (embodied carbon) nel calcestruzzo originale rimane "congelata" nell'edificio.

Al contrario, lo scenario di nuova costruzione ha previsto la sostituzione integrale del fabbricato. Le operazioni in questo caso sono state radicali e ad alto impatto: dopo la demolizione del vecchio blocco, è stata realizzata una nuova struttura portante sempre in cemento armato, ma con tecniche contemporanee. Le pareti esterne sono state progettate con una stratigrafia leggera composta da montanti in acciaio, pannelli di cartongesso e isolamento in lana di vetro, completate da una finitura esterna in mattoni per uniformità visiva.

Nonostante l'integrazione di tecnologie impiantistiche all'avanguardia, come sistemi di ventilazione meccanica con recupero di calore (FTX) e illuminazione a LED, la produzione di CO₂ è schizzata a 370 kgCO₂/m². Questo incremento drammatico è dovuto quasi interamente alle fasi A1-A3 (produzione dei materiali),

dove la fabbricazione di nuovo cemento e acciaio ha generato un debito di carbonio quasi 3,5 volte superiore alla ristrutturazione. In conclusione, l'analisi descrive come l'operazione di recupero del Miljonprogrammet non sia solo una scelta tecnica, ma un atto di responsabilità ambientale.

Il testo chiarisce che il risparmio energetico operativo superiore garantito dal nuovo edificio non è sufficiente, nell'arco di vita analizzato, a compensare l'enorme esplosione di emissioni iniziale causata dalla ricostruzione. La conservazione del "cuore" in calcestruzzo dell'edificio originale emerge quindi come la strategia vincente: le operazioni di ristrutturazione riescono a donare una seconda vita all'immobile portandolo a standard moderni ma con un costo atmosferico drasticamente ridotto, dimostrando che il miglior modo per non inquinare è, prima di tutto, non distruggere ciò che è già stato costruito.

Prospetto principale dell'edificio in esame



Prospetto laterale dell'edificio in esame



Tabella tecnica che confronta i parametri costruttivi e i consumi energetici tra un nuovo edificio e uno ristrutturato



Parameters	New building	Renovated building
Calculation Period	60 years	60 years
Gross floor area	430m ²	990m ²
Electricity /year	3440kWh	15840kWh
District heating /year	19350kWh	77220kWh
Water consumption /year	787m ³	821m ³
Construction site	2200m ²	1200m ²
Foundation concrete	50m ³	0
Asphalt roofing	140m ²	285m ²
External wall insulation	28m ³	64m ³
Triple-pane glazing	128m ²	118m ²

3.4 Gilber Hall vs Center for Engineering

Lo studio condotto da HMFN Architects mira a individuare quale edificio risulti maggiormente sostenibile dal punto di vista ecologico, attraverso l'analisi comparativa di due casi studio situati in un'area limitrofa. L'indagine mette in evidenza le differenti esigenze e le caratteristiche che emergono da entrambe le soluzioni, offrendo una valutazione critica dei risultati ottenibili.

La ricerca confronta la Gilbert Hall (GH) e il Center for Engineering (CSE) negli Stati Uniti offre un'analisi estremamente pragmatica che va oltre la semplice preferenza ideologica per il recupero, mettendo in luce i vantaggi e i limiti tecnici di entrambe le strategie edilizie. La situazione vedeva un'istituzione accademica di fronte alla necessità di ammodernare i propri laboratori, scegliendo tra la trasformazione della Gilbert Hall, un edificio storico con una solida struttura in muratura e cemento, e la realizzazione del CSE, un polo ingegneristico di nuova concezione progettato per massimizzare le performance operative. Gli obiettivi della ricerca non miravano a dare una risposta univoca, ma a pesare correttamente l'impatto delle emissioni lungo tutto il ciclo di vita, confrontando i **353,3 kgCO₂e/m²** prodotti dalla nuova costruzione del CSE con i **259,41 kgCO₂e/m²** necessari per la riqualificazione della Gilbert Hall.

Le operazioni svolte per la nuova costruzione del CSE sono state massicce e hanno richiesto una trasformazione radicale del sito, partendo da scavi profondi per le nuove fondazioni e l'utilizzo di un telaio strutturale in acciaio, materiale che garantisce grandi luci architettoniche e flessibilità ma che comporta un'altissima intensità di carbonio nella fase di produzione. La facciata del CSE è stata realizzata con sistemi a cortina di vetro e metallo ad alte prestazioni, capaci di garantire una luminosità superiore e un isolamento termico d'avanguardia che riduce i consumi di riscaldamento e raffrescamento quotidiani. Di contro, l'intervento sulla Gilbert Hall ha previsto lavorazioni mirate a sfruttare l'inerzia termica esistente: la struttura portante e l'involucro in muratura non sono stati toccati, evitando così il rilascio di CO₂ legato alla produzione di nuovo cemento, mentre si è proceduto con uno sventramento interno per inserire sistemi impiantistici di nuova generazione, cablaggi moderni e un aggiornamento dei serramenti che, pur rispettando l'estetica storica, hanno drasticamente abbattuto le infiltrazioni d'aria.

Nonostante il dato numerico premi la ristrutturazione con un risparmio di circa 94 kg CO₂eq/m², lo studio evidenzia che la scelta non deve basarsi solo sul dato del carbonio incorporato iniziale. La nuova costruzione del CSE, con i suoi 353,3 kg CO₂eq/m², offre infatti spazi con una flessibilità d'uso e una predisposizione tecnologica che la Gilbert Hall fatica a raggiungere a causa della sua maglia strutturale rigida e dei vincoli murari. Sebbene il co-

sto ambientale della GH sia inferiore (259,41 kg CO₂eq/m²), la riqualificazione comporta spesso compromessi sulla distribuzione degli spazi e sull'integrazione di sistemi di ventilazione complessi che in un edificio nuovo sono invece ottimizzati sin dal disegno preliminare. In conclusione, la ricerca suggerisce che se la priorità è l'abbattimento immediato delle emissioni per rispettare i target climatici del prossimo decennio, il recupero della Gilbert Hall rimane l'opzione più razionale, ma la nuova costruzione del CSE rappresenta un investimento in efficienza a lungo termine che, pur partendo con un debito di carbonio più pesante, offre prestazioni funzionali superiori che potrebbero estendere maggiormente la sua vita utile futura.



Illustrazione della posizione dei due casi studio



Confronto delle emissioni di CO₂ basato sulle categorie merceologiche dei materiali. Mostra la predominanza del calcestruzzo e della muratura (66% totale) nelle nuove costruzioni, mentre nelle ristrutturazioni l'impatto è quasi interamente dominato dai materiali per l'isolamento termico e le finiture (84%).

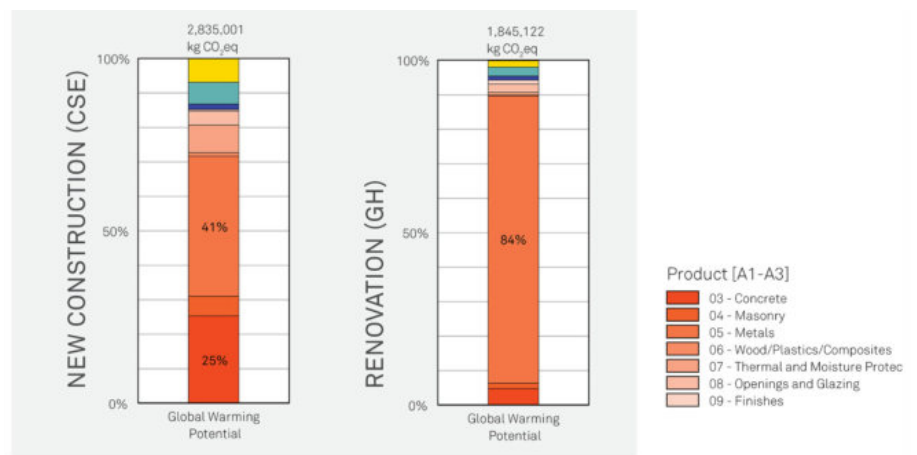
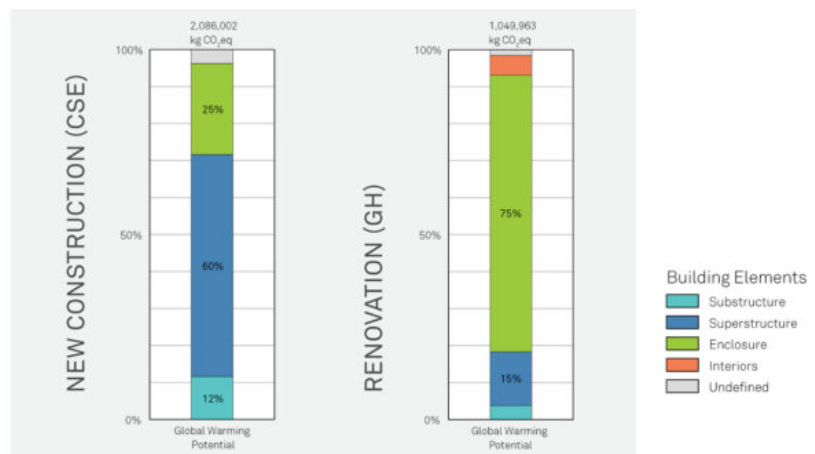


Grafico che confronta l'impatto di CO₂ tra nuova costruzione e ristrutturazione, suddiviso per elementi edilizi. Evidenzia come nella nuova costruzione il peso maggiore derivi dalla sovrastruttura (60%), mentre nella ristrutturazione l'impatto principale sia concentrato sull'involucro (75%).



3.5 Edificio per uffici a Liegi

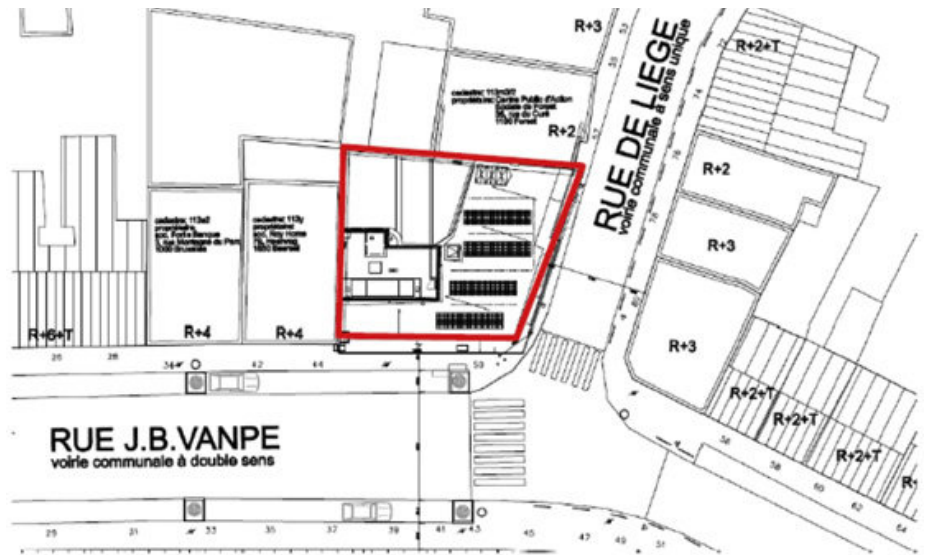
Il caso studio condotto in Belgio e pubblicato sul Journal of Environmental Management approfondisce il confronto tra il recupero e la sostituzione edilizia di un blocco per uffici situato nel parco scientifico di Sart-Tilman a Liegi, fornendo dati numerici essenziali per comprendere il bilancio ecologico delle operazioni. L'edificio, un volume compatto di 1.150 m² risalente al 1980, è stato analizzato lungo un ciclo di vita di 60 anni, mettendo a confronto una ristrutturazione profonda con una ricostruzione integrale che punta agli standard di una "casa passiva".

Nello scenario della ristrutturazione, le operazioni si sono focalizzate sulla conservazione della struttura portante originale, intervenendo drasticamente sull'isolamento termico: sono stati applicati 6 cm di poliuretano (PU) sulle pareti esterne per raggiungere un valore di trasmittanza U di 0,33 W/m²K e ben 10 cm di poliuretano sul tetto per scendere a un valore U di 0,21 W/m²K, mentre i vecchi serramenti monovetro in alluminio sono stati sostituiti con nuovi infissi a taglio termico e doppi vetri con un valore U di 1,1 W/m²K. Nello scenario di ricostruzione, l'intero fabbricato esistente è stato demolito, generando una quantità massiccia di detriti destinati allo smaltimento, per far posto a un nuovo edificio dotato di una coibentazione ancora più spinta, con 24 cm di poliuretano sulle pareti (U = 0,10 W/m²K) e 30 cm sul tetto (U = 0,08 W/m²K), oltre a tripli vetri ad altissime prestazioni (U = 0,6 W/m²K).

L'analisi della CO₂ prodotta rivela un divario numerico impressionante nelle prime fasi del ciclo di vita, ovvero quelle legate alla produzione e costruzione. La ricostruzione genera un impatto ambientale iniziale pari a circa 420.000 kg CO₂, un valore quasi quattro volte superiore rispetto ai circa 110.000 kg CO₂ della ristrutturazione. Questo enorme scarto è dovuto al "carbonio incorporato" nei nuovi materiali pesanti come cemento e acciaio, necessari per rifare da zero fondazioni e pilastri. Sebbene l'edificio nuovo permetta un risparmio energetico operativo (fase B6) di circa il 15% rispetto a quello ristrutturato, lo studio calcola che questo vantaggio annuo non è sufficiente a pareggiare il debito iniziale: nell'arco di 60 anni, le emissioni totali della ristrutturazione rimangono nettamente inferiori, attestandosi su un valore complessivo di circa 1.800.000 kg CO₂ contro i circa 2.100.000 kg CO₂ della ricostruzione.

Il testo sottolinea che per colmare questo gap di circa 300.000 kg di CO₂ di differenza, l'edificio nuovo dovrebbe operare per oltre un secolo, un tempo che spesso supera la vita utile prevista per i moderni uffici. Nonostante la ricostruzione offra un comfort termico superiore e una maggiore libertà nella distribuzione degli spazi interni, la ricerca conclude con forza che il mantenimento della scocca in calcestruzzo esistente è la strategia più efficace per ridurre l'impronta di carbonio immediata, dimostrando che il

“costo energetico” della distruzione e della successiva riedificazione rappresenta un onere ambientale che le tecnologie attuali non sono ancora in grado di compensare nel medio periodo. In definitiva, lo studio belga fornisce una prova numerica del fatto che l’efficienza operativa non deve essere l’unico parametro di giudizio, poiché il risparmio di risorse materiali ottenuto con la ristrutturazione garantisce una protezione climatica molto più rapida e concreta.



Evidenziazione dell’area di progetto e intervento



Istogramma del fabbisogno energetico kWh/m² necessario per le diverse fasi del progetto. Il grafico mostra che l’energia “incorporata” nei materiali e il processo di costruzione di un nuovo edificio richiedono quasi il doppio delle risorse energetiche rispetto a un intervento di ristrutturazione

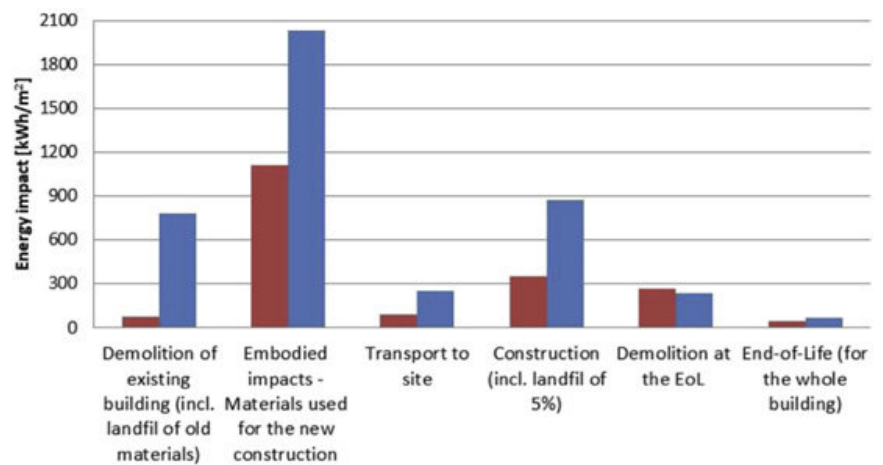
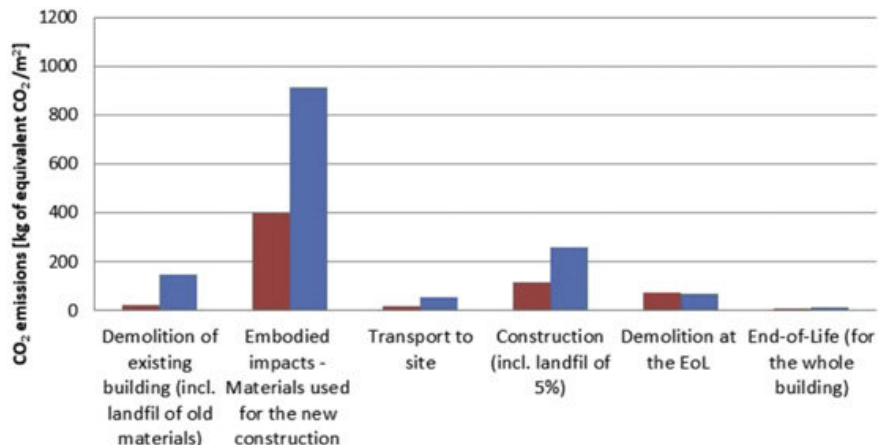


Grafico a barre che confronta le emissioni di CO₂/m² tra ristrutturazione e nuova costruzione lungo il ciclo di vita. Evidenzia come l’impatto maggiore sia generato dai materiali scelti per la costruzione (“Embodied impacts”), con valori sensibilmente più alti per i nuovi edifici rispetto al recupero dell’esistente



3.6 Edificio tipico irlandese

Il caso studio condotto dalla Queen's University di Belfast analizza il confronto ambientale tra la riqualificazione profonda di un'abitazione esistente e la costruzione di una nuova casa, situata in Irlanda, per determinare quale strategia sia più efficace nel ridurre le emissioni di gas serra nel lungo periodo. Il fabbricato oggetto del recupero è una tipica abitazione tradizionale che è stata portata agli standard prestazionali di una "PassivHaus", mentre l'edificio di nuova costruzione è stato progettato per rispettare rigorosamente le normative edilizie irlandesi correnti. L'obiettivo della ricerca era valutare l'intero ciclo di vita (LCA) su due diversi orizzonti temporali, 50 e 80 anni, per capire se l'efficienza operativa di una nuova costruzione potesse giustificare l'impatto ambientale iniziale della sua realizzazione.

Le operazioni effettuate per la ristrutturazione (retrofit) sono state estremamente meticolose e orientate al raggiungimento di standard di efficienza passiva: è stato mantenuto l'involucro strutturale originale ma sono stati applicati spessori molto elevati di isolamento termico, è stata garantita una tenuta all'aria quasi perfetta e sono stati installati sistemi di ventilazione con recupero di calore ad alta efficienza. Al contrario, le operazioni per la nuova costruzione hanno previsto l'intero processo di cantiere tradizionale, includendo lo scavo delle fondazioni, la posa di nuovi blocchi di cemento, l'uso di acciaio strutturale e la creazione di una stratigrafia muraria moderna con isolamento integrato. Queste lavorazioni sono state confrontate non solo per la loro capacità di risparmiare energia una volta ultimate, ma soprattutto per il carico di risorse primarie e l'energia necessaria a produrre ogni singolo componente costruttivo.

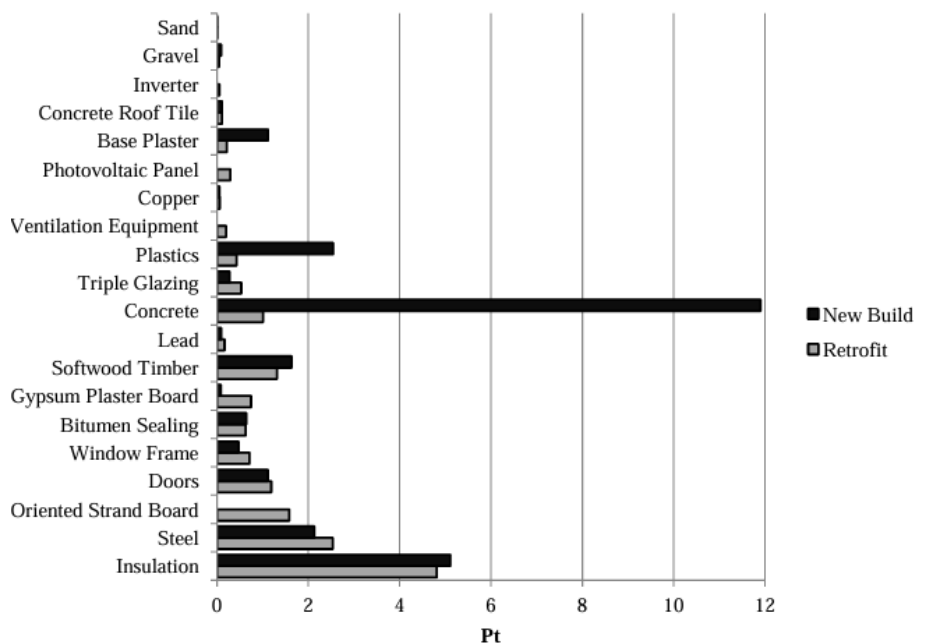
Per quanto riguarda la CO₂ prodotta, lo studio rileva che la fase operativa (B6) rappresenta la quota maggiore di emissioni per entrambi gli scenari. Tuttavia, la nuova costruzione parte con un "debito di carbonio" iniziale molto più pesante dovuto alle fasi di estrazione e produzione dei materiali (A1-A3), quantificato in una differenza di circa 30-40 tonnellate di CO₂ in più rispetto al retrofit già alla fine del cantiere. Su un periodo di 50 anni, la casa ristrutturata mostra un vantaggio ambientale complessivo del 15-20% grazie al minor impatto dei materiali iniziali. Nonostante questi dati numerici, lo studio non si schiera in modo assoluto a favore della ristrutturazione, ma introduce elementi tecnici che potrebbero rendere la demolizione e ricostruzione una scelta migliore in determinate circostanze.

Il testo evidenzia infatti che l'efficacia del retrofit è estremamente sensibile alla qualità dell'esecuzione tecnica e allo stato di conservazione dell'edificio originale: se la struttura esistente presentasse difetti occulti o degrado materico avanzato, i costi ambientali e i rischi di fallimento energetico della ristrutturazio-

ne potrebbero aumentare drasticamente. Al contrario, la ricostruzione offre una libertà progettuale che permette di ottimizzare l'orientamento solare e la distribuzione degli spazi in un modo che il retrofit non può eguagliare. Inoltre, la ricerca osserva che all'aumentare della vita utile dell'edificio — superando gli 80-100 anni — il divario tra le due opzioni tende a ridursi sensibilmente. In un'ottica di lunghissimo periodo, se la nuova costruzione riuscisse a garantire standard energetici ancora più spinti grazie alla libertà di design, potrebbe teoricamente arrivare a parreggiare o superare la convenienza del retrofit, specialmente se si considera la maggiore facilità con cui un edificio nuovo può essere progettato per un futuro smantellamento e riciclo (Design for Disassembly), riducendo così l'impatto della fase di fine vita rispetto a una struttura vecchia difficile da differenziare. In conclusione, sebbene il recupero offra il vantaggio immediato di non emettere nuova CO₂ strutturale, la demolizione e ricostruzione rimane un'alternativa valida laddove l'edificio originale sia troppo compromesso per garantire le performance promesse o quando si punti a una durabilità e flessibilità tecnologica superiore nel secolo a venire.

Tabella comparativa del fabbisogno energetico annuale espresso in kWh/m². Mette a confronto un edificio ristrutturato e uno nuovo

House	Unit	Yearly
Retrofit	kWh/m²	
Space heating and DHW		46.83
Electricity demand		32.27
PV Generation		47.39
New Build	kWh/m²	
Space heating and DHW		97.50
Electricity consumption		27.50



Istogramma orizzontale che confronta l'impatto ambientale di singoli materiali costruttivi



3.7 Area industriale a Lecco

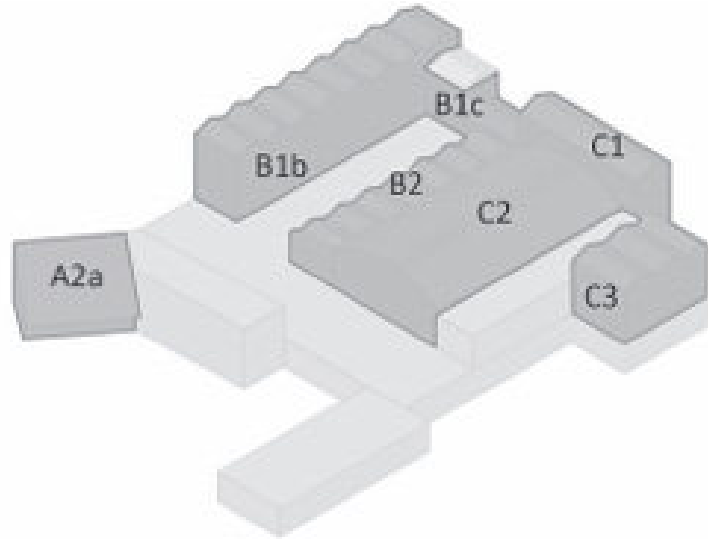
Il testo analizzato si concentra sull'esame di un'area industriale di Lecco, valutando i possibili benefici derivanti da una ristrutturazione oppure da una demolizione con successiva ricostruzione. Per individuare l'ipotesi più vantaggiosa, lo studio adotta una valutazione del ciclo di vita (LCA) dell'edificio, sviluppando diverse alternative tecnologiche e materiche sia per l'opzione di ristrutturazione sia per quella di demolizione e nuova costruzione.

Nel caso della ristrutturazione, le operazioni principali hanno riguardato l'efficientamento dell'involucro edilizio esistente mediante l'applicazione di sistemi di isolamento termico a cappotto (ETICS). Le attività di cantiere sono risultate relativamente contenute, con una durata limitata (circa una settimana per le demolizioni parziali del tetto e un paio di mesi per l'installazione di pareti e finiture) e un impiego ridotto di macchinari pesanti. Per quanto concerne la CO₂ prodotta, questa strategia ha mostrato i valori di Global Warming Potential (GWP) più bassi. Nello specifico, l'uso del poliuretano (PU) ha permesso di risparmiare fino al 33% di emissioni di carbonio rispetto alle soluzioni standard in EPS, grazie alla bassa massa di isolante necessaria per ottenere le prestazioni termiche richieste.

D'altro canto, lo scenario di demolizione e ricostruzione ha comportato operazioni decisamente più invasive, richiedendo circa sei settimane solo per le attività di demolizione integrale dei volumi esistenti, con un massiccio utilizzo di pinze demolitrici, escavatori e mezzi pesanti per il trasporto dei rifiuti inerti ai centri di smaltimento. Sebbene questa opzione generi inizialmente un carico di emissioni di CO₂ molto più elevato a causa della produzione dei nuovi materiali strutturali (come calcestruzzo o acciaio) e della gestione dei rifiuti, il testo evidenzia alcuni aspetti che rendono il confronto meno netto in certe circostanze.

Sebbene la ristrutturazione appaia generalmente preferibile sotto il profilo delle emissioni, la ricostruzione può presentare dei vantaggi competitivi quando si considerano l'intero ciclo di vita e le potenzialità di riciclo. Esistono infatti studi citati nella ricerca che suggeriscono come le prestazioni energetiche superiori ottenibili con una nuova costruzione possano, nel tempo, ridurre il divario di sostenibilità rispetto al recupero dell'esistente. Inoltre, l'adozione di strutture in legno (CLT o telaio) o calcestruzzo armato nella fase di ricostruzione è stata identificata come un'opzione molto più "ecologica" rispetto all'uso dell'acciaio. Un elemento di forza della ricostruzione risiede nei benefici derivanti dal riciclo e recupero dei materiali a fine vita, che possono portare a una significativa riduzione dell'impronta di carbonio, allineando potenzialmente le tecnologie di nuova costruzione alle opzioni di ristrutturazione. In sintesi, mentre la conservazione dell'involucro esistente rimane la via più diretta per minimizzare l'impatto climatico immedia-

to, la scelta tra ristrutturare o ricostruire non è scontata e dipende fortemente dal contesto climatico, dalle condizioni dell'edificio originale e dalla capacità dei nuovi progetti di integrare materiali bio-based o processi di riciclo avanzati che compensino i carichi ambientali iniziali.



Assonometrie raffigurante i volumi di progetto



Tabella dei materiali risultanti dalla demolizione, classificati per massa e destinazione finale



Material	Amount	Density	Mass	%	Waste category
	m ³	kg/m ³	t		
Bricks	1,431	1,200	1,717.2	75.6%	Landfill
Concrete	183	2,600	476.7	21.0%	Material recovery
Wood	36	420	15.1	0.7%	Energy recovery
Glass	1	2,600	1.8	0.08%	Landfill
Steel	3	7,960	23.4	1.0%	Material recovery
Tiles	916	40	36.6	1.6%	Landfill

Tabella che dettaglia i tempi e i mezzi necessari per la ristrutturazione



	Duration in days	Number of vehicles	Distance in km	Equipment
Demolition works	7	2	17.0	Electric compact assembly tools and hydraulic crane
Roof	24	2	50.0	Electric compact assembly tools and hydraulic crane
Walls	66	2	50.0	Electric compact assembly tools and hydraulic crane
Finishing	14	1	50.0	Electric compact assembly tools

Prospetto dei lavori per la demolizione e nuova costruzione



	Duration in days	Number of vehicles	Distance in km	Equipment
Demolition works	40	3	17.0	Demolition pliers, semitrailer, hydraulic crane, excavator
Concrete structure	53	3	50.0	Wooden formworks, concrete mixer truck (Euro3), electric pump for concrete pouring
Roof	111	2	50.0	Electric compact assembly tools and hydraulic crane
Walls	42	2	50.0	Electric compact assembly tools and hydraulic crane
Finishing	14	1	50.0	Electric compact assembly tools

3.8 Edificio residenziale a Copenaghen

L'edificio multifamiliare oggetto dello studio si trova a Copenaghen, in Danimarca, e rappresenta un tipico esempio dell'edilizia residenziale scandinava del dopoguerra che necessita di profondi aggiornamenti prestazionali. Le operazioni di ristrutturazione profonda condotte su questo complesso hanno comportato un intervento radicale sulle superfici disperdenti, con l'installazione di circa 25-30 cm di materiale isolante sulle pareti esterne e sulla copertura, oltre alla sostituzione integrale dei vecchi infissi con sistemi a taglio termico e triplo vetro performante che hanno drasticamente abbattuto la trasmittanza termica. Queste lavorazioni, pur richiedendo l'impiego di nuovi materiali, hanno permesso di "congelare" il carbonio già stoccato nelle strutture portanti originali, evitando la produzione di circa 300-400 kg di CO₂ per metro quadrato, valore tipicamente associato alla realizzazione di una nuova struttura in calcestruzzo armato e laterizio.

Entrando nel merito dei dati numerici forniti dai diversi metodi di calcolo (danese, finlandese e svedese), emerge chiaramente come la ristrutturazione consenta di mantenere le emissioni iniziali, ovvero il cosiddetto "upfront carbon", a livelli estremamente contenuti, spesso inferiori ai 150 kg CO₂/m²; al contrario, l'operazione di demolizione e ricostruzione a Copenaghen partirebbe da una base emissiva molto più pesante, che può superare i 500 kg CO₂/m² a causa delle fasi di abbattimento, trasporto dei detriti in discarica e, soprattutto, della produzione di nuovo cemento e acciaio necessari per il nuovo volume. Le lavorazioni per la nuova costruzione implicano infatti getti di calcestruzzo massivi e l'uso di armature metalliche che, nel bilancio globale dei primi anni di vita dell'edificio, rendono la ricostruzione molto più impattante dal punto di vista climatico rispetto al recupero dell'esistente.

Tuttavia, un approccio scientifico rigoroso impone di non dare incondizionatamente ragione alla ristrutturazione senza considerare le variabili di lungo periodo legati alle emissioni operative, ovvero quelle prodotte dal riscaldamento e dal raffrescamento durante l'uso dell'edificio. Sebbene la ristrutturazione riduca le emissioni iniziali del 60-70% rispetto alla ricostruzione, quest'ultima permette operazioni di ottimizzazione energetica millimetrica, come l'eliminazione totale dei ponti termici strutturali e l'installazione di impianti radianti integrati nei nuovi solai, che possono portare a un consumo energetico operativo inferiore anche del 20% rispetto a un edificio ristrutturato. In alcuni casi specifici descritti nel testo, se si ipotizza un ciclo di vita di 50 o 60 anni, il minor consumo energetico quotidiano della nuova costruzione potrebbe teoricamente "ripagare" il debito di CO₂ iniziale, portando a un punto di pareggio ambientale (break-even point) verso la fine della vita utile dell'immobile.

In conclusione, sebbene la ristrutturazione a Copenaghen sia

la strategia più efficace per rispondere all'emergenza climatica immediata grazie al bassissimo impatto delle lavorazioni di cantiere, la demolizione e ricostruzione non deve essere vista come una scelta puramente negativa ma come un investimento a lungo termine che, pur partendo con un'impronta di carbonio pesante, offre una maggiore libertà tecnologica e una potenzialità di efficienza che potrebbe, in scenari di utilizzo molto prolungati o con mix energetici ancora basati sui combustibili fossili, risultare competitiva rispetto al semplice recupero.

Serie di grafici lineari che mostrano l'andamento delle emissioni accumulate su un arco di 50 anni

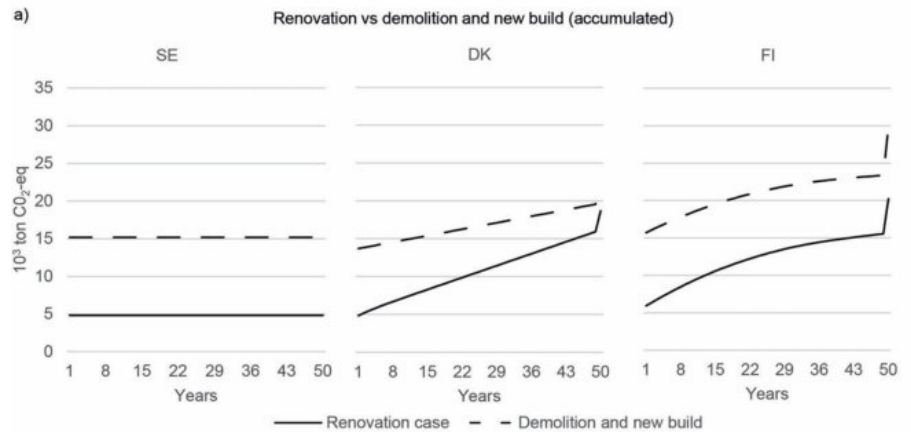
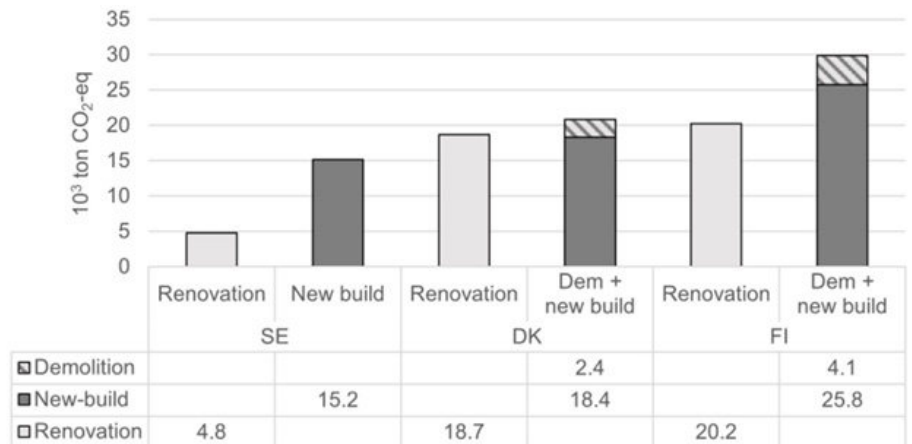
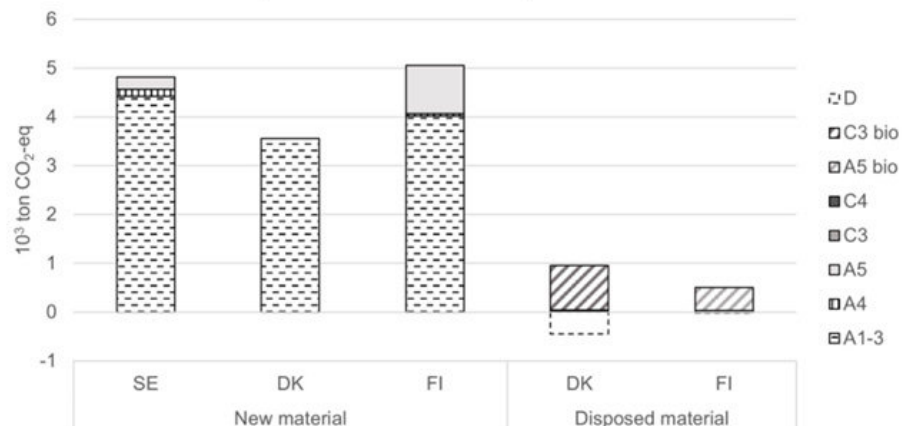


Grafico a barre che confronta le emissioni totali di 10³ton CO₂-eq in tre paesi diversi



Analisi delle emissioni "up-front" legate ai nuovi materiali e allo smaltimento



3.9 Valutazione conclusiva delle evidenze emerse

Dopo aver analizzato le ricerche e i progetti più affini e coerenti con il nostro tema, possiamo affermare che la tendenza attuale privilegia la ristrutturazione rispetto alla demolizione. Tuttavia, questa preferenza non è assoluta, emergono infatti diverse eccezioni e condizioni specifiche che se ignorate renderebbero fuorviante l'intera analisi svolta fino a questo punto, portandoci a conclusioni opposte rispetto agli studi esaminati.

Per comprendere perché la maggior parte delle ricerche favorisca la ristrutturazione, è utile partire dall'unico caso che si discosta da questa tendenza ossia il complesso rurale di Argelato. In questo studio, la demolizione risulta la scelta più vantaggiosa poiché la ristrutturazione richiederebbe interventi estremamente invasivi, tali da snaturare completamente l'edificio originale. Le elevate quantità di isolamento e gli adeguamenti termici necessari, unite alle scarse condizioni del manufatto, rendono l'intervento di recupero inefficiente sia dal punto di vista tecnico sia da quello ambientale. Questa condizione rappresentata dallo stato di conservazione e la tipologia costruttiva di partenza rappresenta uno dei fattori decisivi da tenere sempre in considerazione. Negli altri casi studio, la ristrutturazione risulta generalmente preferibile, anche se con alcune riserve, infatti nei due complessi scolastici statunitensi, ad esempio, la ristrutturazione garantisce migliori prestazioni emissive, ma comporta inevitabili limitazioni degli spazi esistenti che risultano poco flessibile ed impongono compromessi funzionali e distributivi.

Analizzando l'insieme dei casi, emerge un quadro chiaro, la ristrutturazione è oggi favorita soprattutto per ragioni normative e ambientali. Le politiche europee di riduzione delle emissioni spingono verso il riuso del costruito, poiché il mantenimento della struttura esistente consente di valorizzare la CO₂ già incorporata nell'edificio. Tuttavia, questa convenienza è valida solo nel primo tratto del ciclo di vita, gli studi mostrano che superati circa quarant'anni, una demolizione ben gestita, accompagnata da un'attenta strategia di recupero dei materiali e da una nuova costruzione sostenibile, tende a diventare progressivamente più efficiente dal punto di vista emissivo questo perché con il passare del tempo il grande scarto che si era definito per svolgere le operazioni demolizione, smaltimento e definizione di nuovi materiale tende ad ammortizzarsi per via dei consumi minori di gestione del nuovo fabbricato. È fondamentale sottolineare che questa logica funziona solo quando l'edificio di partenza possiede determinate caratteristiche strutturali. Gli esempi più favorevoli alla ristrutturazione sono infatti quelli con una struttura portante solida e regolare, in particolare in calcestruzzo armato, che permette di "tornare allo scheletro" e ricostruire nuove stratigrafie in modo efficace. Al contrario, strutture più fragili, complesse, oppure articolate, come nel caso di Argelato, ossia interamente in muratura

portante in mattoni, rendono la riconversione troppo complicata e poco sostenibile.

Alla luce di queste considerazioni, i calcoli e le conclusioni della nostra prima fase di analisi risultano coerenti pur andando contro la tendenza generale che privilegia la ristrutturazione, nel nostro caso specifico la struttura esistente rappresenta un vincolo eccessivo e troppo difficile da valicare. Ogni intervento di adeguamento sarebbe troppo invasivo e comporterebbe un carico emissivo elevato. Una demolizione parziale, con recupero delle macerie e successiva nuova costruzione, appare quindi la soluzione più equilibrata per il nostro caso studio. La scelta di mantenere una porzione dell'edificio originale è inoltre perfettamente in linea con i casi studio analizzati, infatti quando è possibile riutilizzare parti dell'esistente senza stravolgerne la funzione, si ottiene un duplice beneficio. Da un lato si riduce l'impiego di nuovi materiali, migliorando il bilancio emissivo mentre dall'altro si preserva la memoria storica del luogo, mantenendo un elemento identitario importante per la collettività.

Infine, possiamo affermare che la ristrutturazione rappresenta una soluzione efficace quando gli spazi già presenti nell'edificio originario risultano adeguati alle nuove funzioni. Nel nostro caso studio, però, questa condizione non era soddisfatta; Una nuova costruzione permette infatti di ottenere spazi più ampi, più versatili e soprattutto consente di integrare elementi aggiuntivi in modo coerente. Se avessimo mantenuto integralmente il corpo originario dell'edificio, sarebbe comunque stato necessario prevedere un ampliamento, ad esempio per il posizionamento della palestra. Tale volume aggiunto, affiancato a un edificio esistente poco flessibile, avrebbe rischiato di risultare dissonante e poco armonico. Al contrario, progettare un nuovo corpo edilizio più esteso e collocarlo in continuità con la porzione conservata permette di ottenere una relazione più equilibrata tra le parti, migliorando la coesione architettonica e l'integrazione complessiva del complesso.



4.1 Prima analisi dell'area

Ci troviamo ora all'inizio della fase di progettazione del nuovo corpo scolastico. La presenza di una porzione di fabbricato esistente, rimasta dopo la parziale demolizione, impone di immaginare un intervento capace di integrarsi sia con ciò che resta dell'edificio originario, sia con il contesto urbano e paesaggistico in cui il progetto si colloca. Il nuovo volume, infatti, non si inserisce in un vuoto isolato: come già evidenziato nella prima parte di analisi dell'area di progetto, ci troviamo all'interno di un parco urbano circondato da edifici prevalentemente residenziali, caratterizzati da architetture, forme e spazi molto eterogenei.

Questa condizione richiede un'attenzione particolare all'inserimento del nuovo edificio, poiché un intervento poco sensibile rischierebbe di apparire come un elemento estraneo, quasi catapultato nel sito,



alterando in modo negativo la percezione complessiva dell'area.

L'obiettivo del progetto è stato quindi quello di ricercare un'integrazione armonica, pulita e non invasiva, pur considerando la significativa quantità di superficie aggiuntiva necessaria per soddisfare le nuove esigenze funzionali della scuola. La sfida consiste nel coniugare l'ampliamento richiesto con un linguaggio architettonico capace di dialogare con il contesto, evitando contrasti eccessivi e valorizzando le qualità ambientali dell'area. In questo senso, l'integrazione nel contesto e la ricerca della migliore illuminazione naturale possibile hanno guidato l'intero processo progettuale, orientando ogni scelta distributiva, formale e costruttiva e contribuendo a definire un edificio che possa inserirsi nel luogo con coerenza, rispetto e qualità.



4.2 Lettura del contesto circostante

Per comprendere le condizioni di partenza del nuovo corpo di fabbrica è necessario analizzare con attenzione gli edifici e le architetture circostanti, così da definire il contesto entro cui il progetto dovrà inserirsi. L'area presenta una notevole varietà di situazioni urbane e spaziali, con edifici di epoche, altezze e linguaggi differenti che contribuiscono a delineare un ambiente complesso e articolato. Un ulteriore elemento significativo è la strada che circonda quasi interamente il lotto, garantendo collegamenti semplici e lineari grazie all'assenza di barriere fisiche; anche la strada interna, non essendo un'arteria principale, non rappresenta un ostacolo alla fruizione dell'area.

Osservando più nel dettaglio il costruito, il lato nord del fabbricato confina con un edificio residenziale di tre piani, alto circa 11 metri, articolato in tre blocchi leggermente sfalsati e caratterizzato da una copertura a due falde. Sul lato est si trovano invece due edifici adiacenti ma completamente diversi tra loro: il primo è una costruzione moderna di cinque piani con un attico che raggiunge un'altezza complessiva di circa 18 metri, diventando così il punto più elevato dell'intera area; il secondo è un edificio più datato, oggi inutilizzato, di quattro piani e con un'altezza inferiore, ma molto impattante a causa del suo pessimo stato manutentivo e delle dimensioni considerevoli.

Il fronte sud è definito dalla presenza della strada principale, caratterizzata da un traffico veicolare piuttosto intenso. Sul lato opposto della carreggiata si affacciano una piccola villetta indipendente in mattoni a vista e una palazzina plurifamiliare di dimensioni maggiori, parzialmente schermata dalla presenza di una siepe che ne attenua l'impatto visivo. Infine, il lato ovest è dominato dal pendio collinare che determina un significativo dislivello altimetrico: questa conformazione naturale rappresenta una sorta di protezione rispetto ai venti provenienti dalla collina e contribuisce a definire un margine fisico e percettivo molto chiaro.

In generale, in tutte le direzioni si riscontra una presenza diffusa di vegetazione, spazi aperti e aree dedicate ad attività diverse, elementi ricorrenti che caratterizzano gli affacci e che costituiscono un riferimento importante per l'inserimento del nuovo edificio.

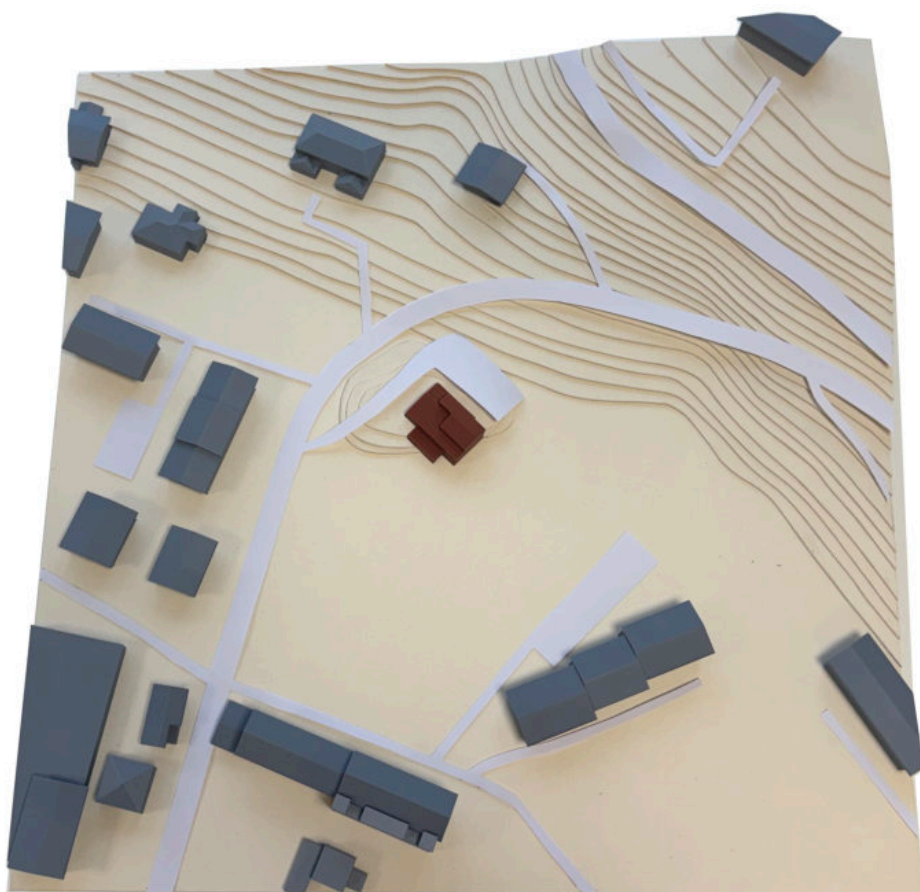


4.3 Modello di contesto

Per definire con maggiore precisione le altezze e le volumetrie del progetto, la scelta più efficace è stata quella di realizzare un modello fisico in scala 1:500, così da ottenere una visione complessiva del territorio circostante e comprendere meglio le relazioni altimetriche e formali tra il nuovo edificio e il contesto. Il modello ha una dimensione di 50 × 50 cm, corrispondenti nella realtà a un quadrato di 250 metri di lato, sufficiente a includere tutti gli elementi significativi dell'intorno.

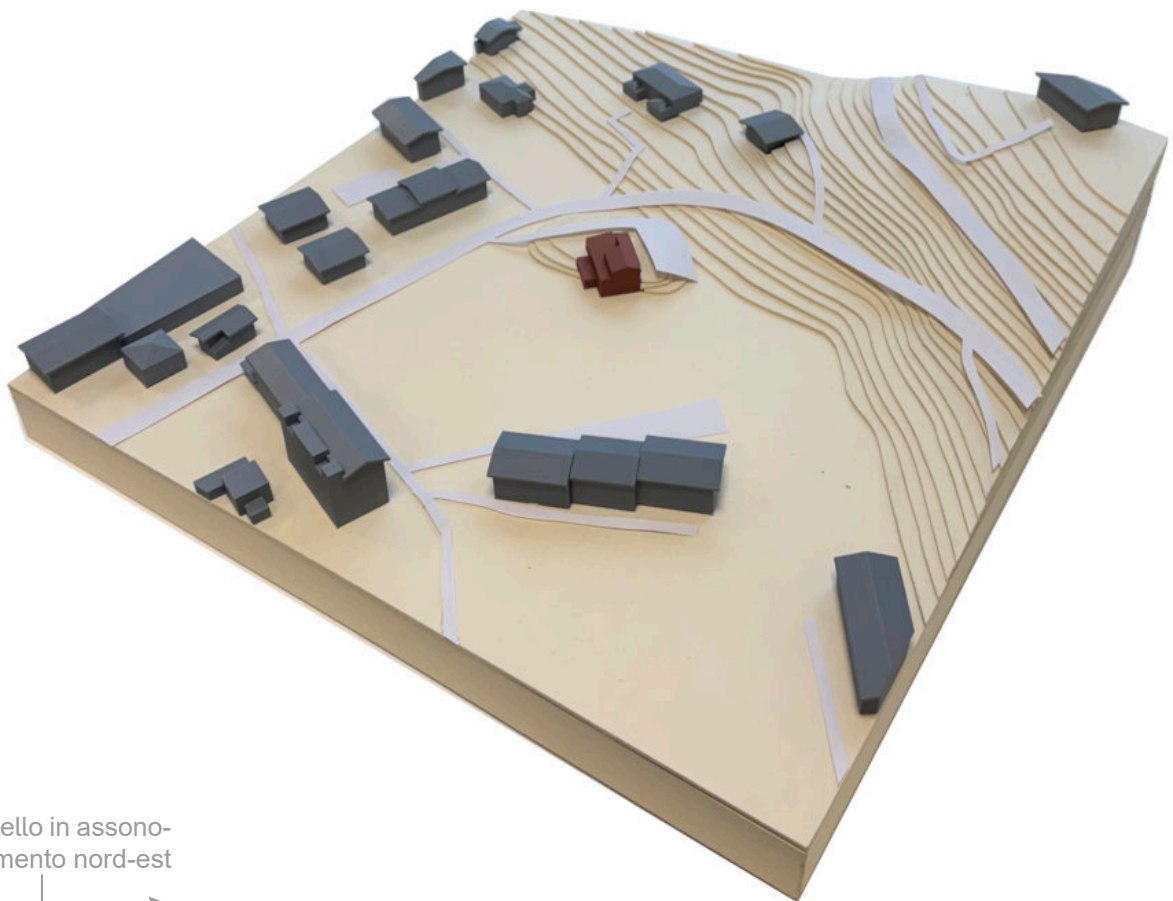
La costruzione del modello è stata utile anche per rappresentare con accuratezza la differenza altimetrica del lotto: tutte le curve di livello sono state riprodotte utilizzando cartoncino naturale da 2 mm di spessore, equivalente a un metro di dislivello nella realtà. Per quanto riguarda gli edifici circostanti, essi sono stati prima misurati e ridisegnati in scala, per poi essere stampati con tecnologia 3D, in modo da ottenere forme il più possibile fedeli agli originali.

A completamento del modello è stato aggiunto uno strato grigio che rappresenta la sede stradale, così da definire con maggiore chiarezza gli spazi destinati alla circolazione e migliorare la lettura complessiva del contesto.

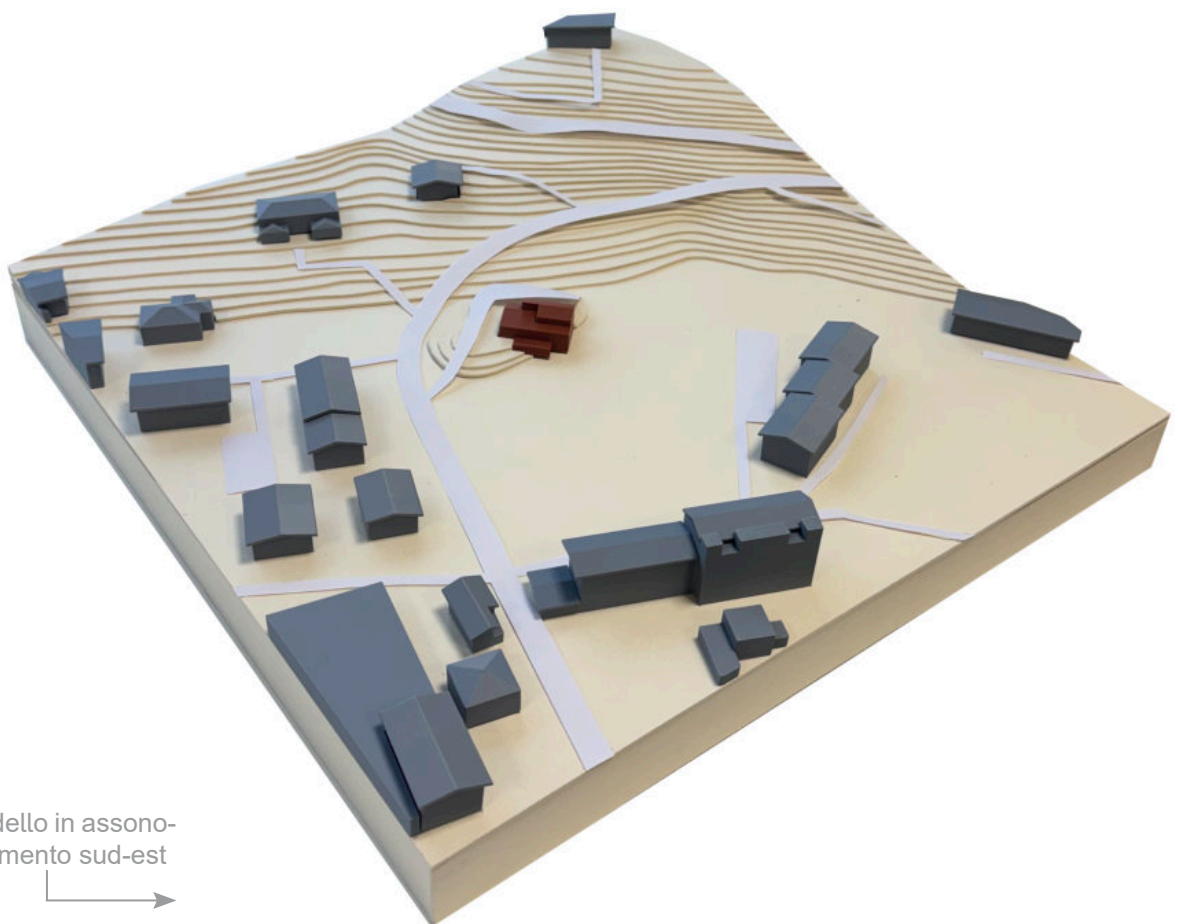


Fotografia del modello in vista superiore





Fotografia del modello in assonometria con orientamento nord-est



Fotografia del modello in assonometria con orientamento sud-est

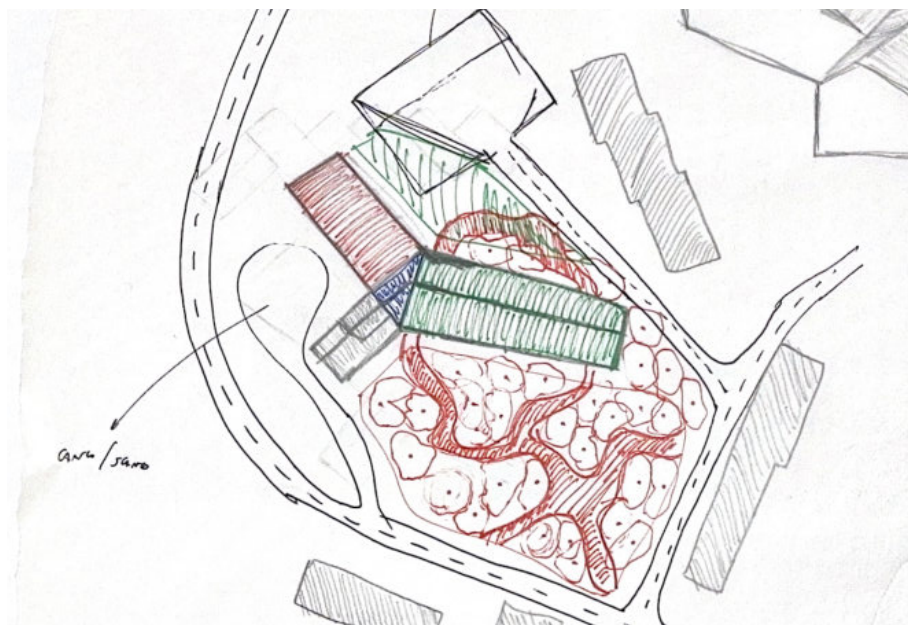


4.4 Modello di progetto

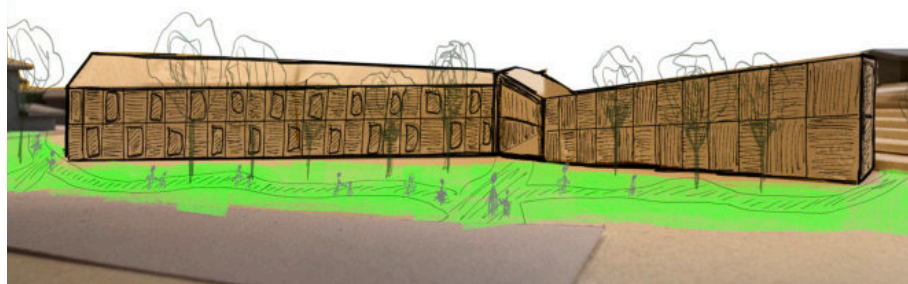
Il modello di progetto è stato sviluppato dopo numerosi tentativi, sperimentando forme e sagome molto diverse tra loro, realizzate interamente in polistirene e tagliate a mano per individuare progressivamente la configurazione più adatta. Attraverso questa fase esplorativa è stato possibile valutare le proporzioni, le relazioni volumetriche e l'impatto delle diverse soluzioni, fino ad arrivare alla forma definitiva rappresentata nella fotografia successiva.

L'idea alla base del nuovo volume nasce innanzitutto dall'esigenza di collocare la scuola nella posizione più favorevole dal punto di vista dell'orientamento, così da garantire una migliore esposizione luminosa durante gli orari didattici. Parallelamente si è lavorato sul rapporto con il volume preesistente: il nuovo corpo si collega infatti alla sagoma originaria seguendo l'inclinazione della falda del secondo piano dell'edificio esistente, in modo da instaurare una continuità formale e ridurre l'impatto dell'ampliamento.

La forma si è poi sviluppata tenendo conto delle ombre e delle possibili interferenze con gli edifici circostanti, evitando di generare criticità e cercando al contrario di inserirsi in modo equilibrato all'interno del parco urbano. L'obiettivo è stato quello di integrare il più possibile il verde esistente con il nuovo edificio, valorizzando la presenza degli spazi aperti e mantenendo una relazione armonica con il contesto.

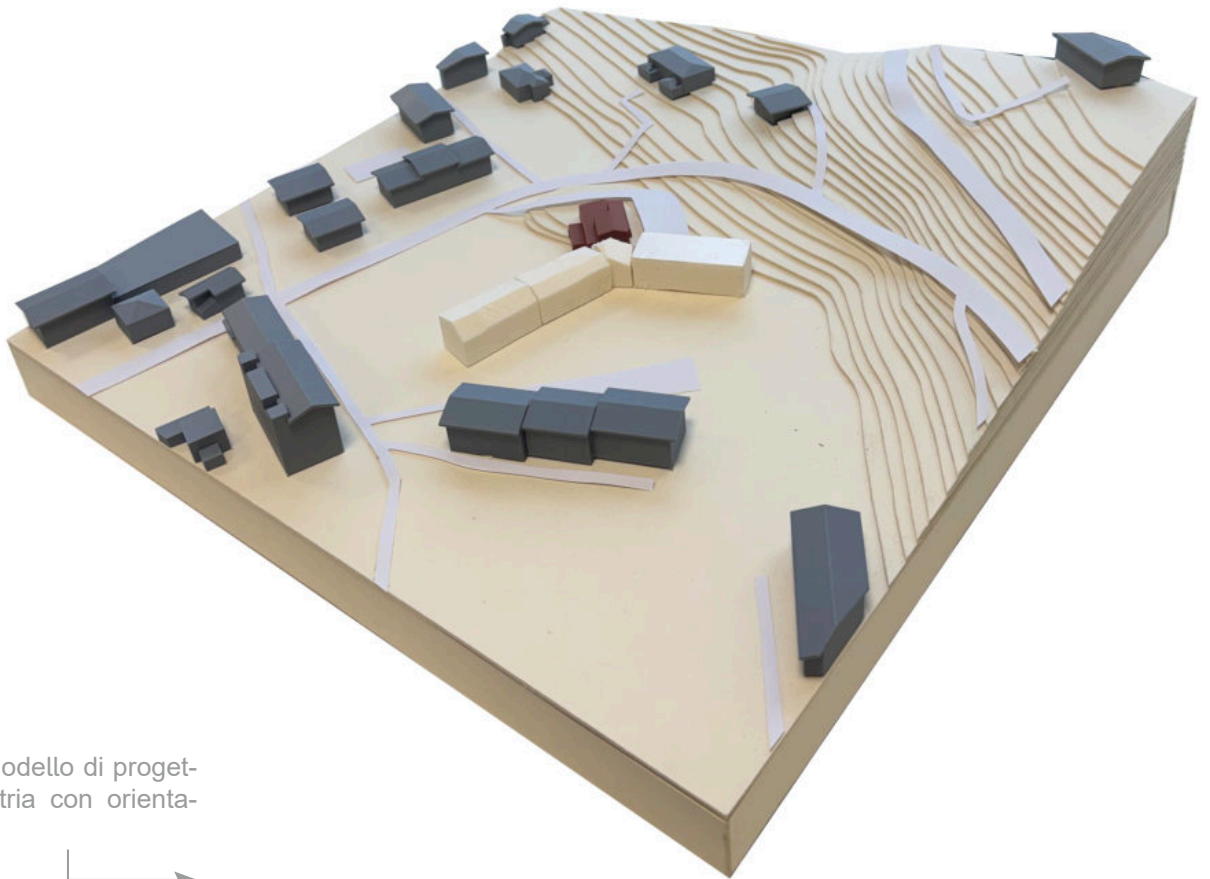


Planimetria generale con ipotesi di progetto

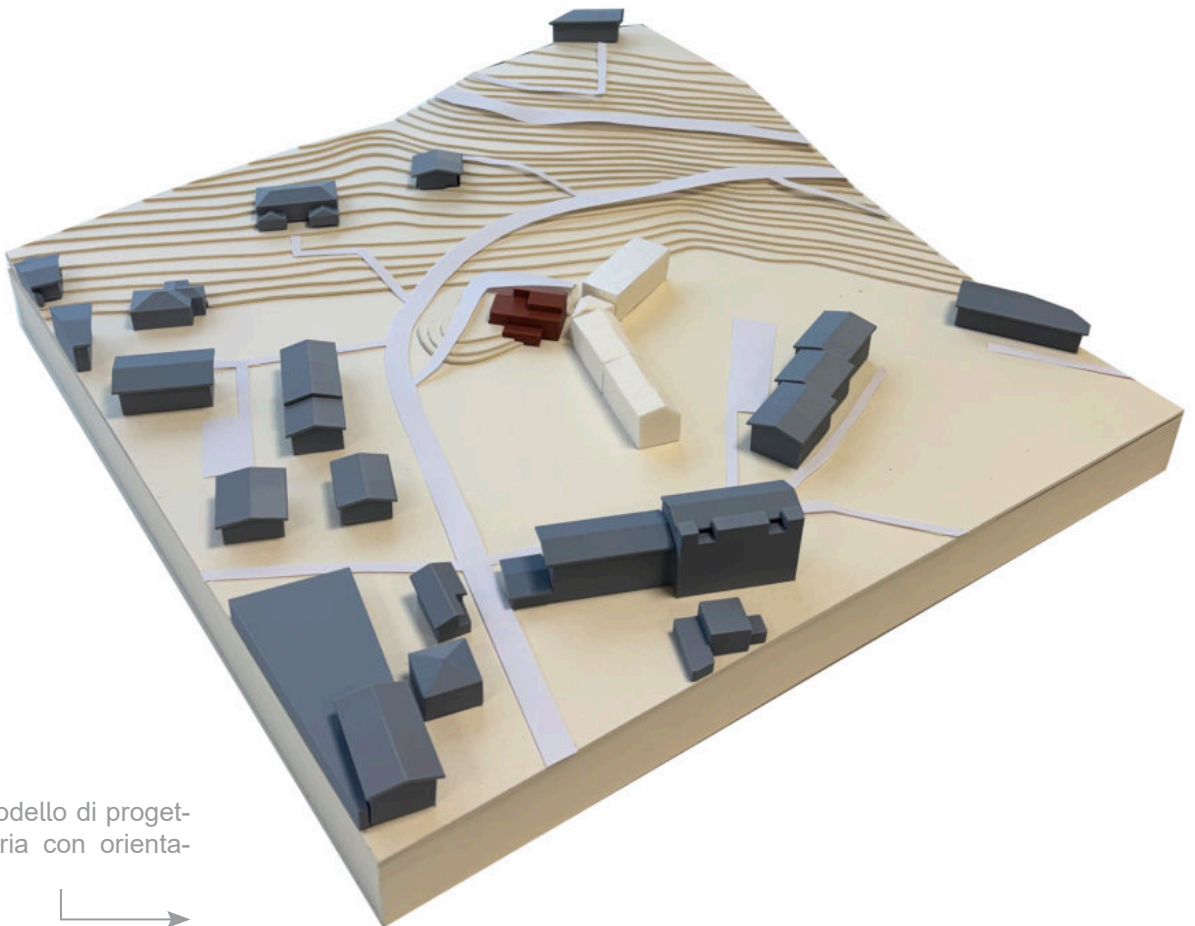


Prime idee di design dell'edificio





Fotografia del modello di progetto in assonometria con orientamento nord-est



Fotografia del modello di progetto in assonometria con orientamento sud-est

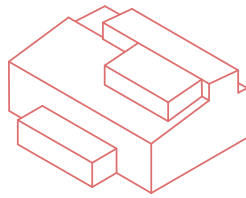


4.5 Sviluppo volumetrico

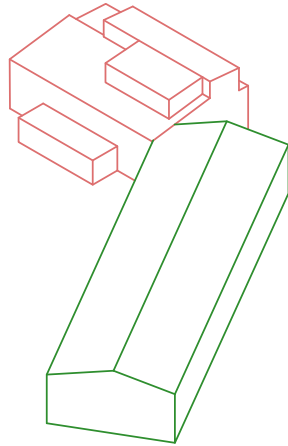
Andiamo ora ad analizzare la logica che ha guidato lo sviluppo dei volumi di progetto all'interno dell'area di intervento. Il punto di partenza è rappresentato dalla demolizione parziale dell'edificio esistente, del quale si conserva una porzione come testimonianza dell'architettura precedente. Questa parte è stata mantenuta poiché più facilmente adattabile alle nuove funzioni, che riprendono in modo coerente quelle originariamente presenti nella RSA, come la mensa, gli uffici didattici e alcune aule destinate ai laboratori. A partire da questa preesistenza si innesta il blocco n. 2, che accoglie il nuovo corpo scolastico e che è stato definito secondo le migliori condizioni possibili in termini di orientamento, organizzazione interna e relazione con gli spazi esterni. L'edificio è orientato prevalentemente verso sud, condizione che garantisce una luce morbida e obliqua nelle prime ore del mattino e una luminosità più intensa nelle ore centrali della giornata. Le sue dimensioni derivano dall'applicazione delle normative e degli indici di superficie previsti dal DM della Pubblica Istruzione del 18 dicembre 1975, ottenendo così un primo dimensionamento regolato e coerente con le esigenze funzionali. Il blocco n. 3 svolge invece il ruolo di elemento di connessione tra la parte residua dell'edificio esistente, caratterizzata da forme e proporzioni proprie, e il nuovo corpo scolastico, più lineare e regolare. Questo volume intermedio permette di unificare i due blocchi in un sistema continuo, mantenendo al contempo alcuni riferimenti formali della preesistenza, come l'inclinazione della falda. La sua configurazione rappresenta una significativa opportunità progettuale, poiché consente di creare uno spazio filtro capace di ospitare funzioni diverse che condividono l'ingresso pur avendo orari e modalità d'uso differenti, diventando così un nodo distributivo e relazionale fondamentale per l'intero complesso.

Infine, il blocco n. 4 rappresenta il punto di chiusura delle volumetrie di progetto e completa la definizione dell'intera composizione. Questo volume ospita al suo interno la palestra, funzione che richiede un'altezza interna maggiore e che trova qui la sua collocazione ideale grazie alla possibilità di modulare il profilo del tetto. Il blocco parte infatti da un'altezza pari a quella della falda dell'edificio esistente e si riduce progressivamente fino a raggiungere la quota di colmo della scuola, generando una continuità volumetrica che conferisce ordine e regolarità all'insieme. La presenza della palestra contribuisce inoltre a rafforzare il ruolo di questo volume come elemento terminale e al tempo stesso dinamico dell'intero complesso, capace di accogliere una funzione pubblica e collettiva che dialoga con gli spazi esterni e con il sistema dei percorsi. La configurazione complessiva dei volumi genera due prospetti chiaramente distinti: quello rivolto a sud, più contenuto e legato alla preesistenza, che ne valorizza la continuità, e quello rivolto a nord, che si presenta invece come un elemento nuovo e dichiaratamente innovativo, definendo l'identità contemporanea dell'intervento.

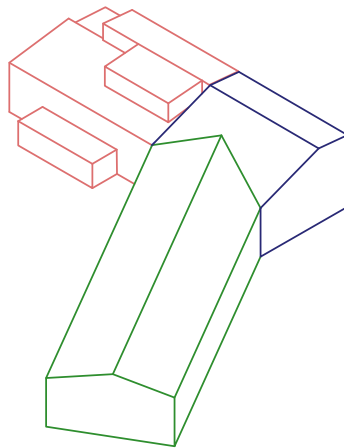
Blocco n.1



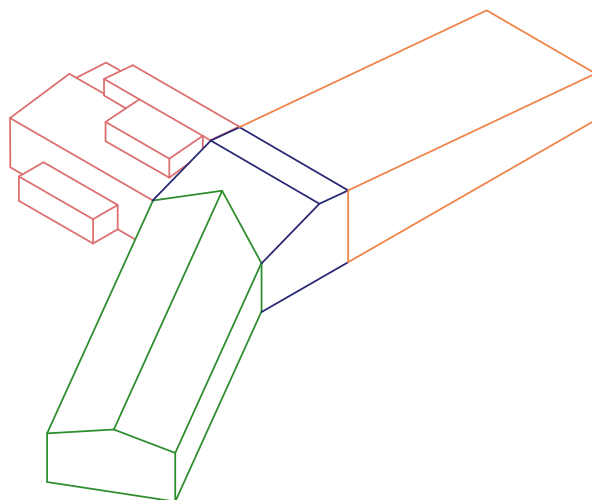
Blocco n.2



Blocco n.3



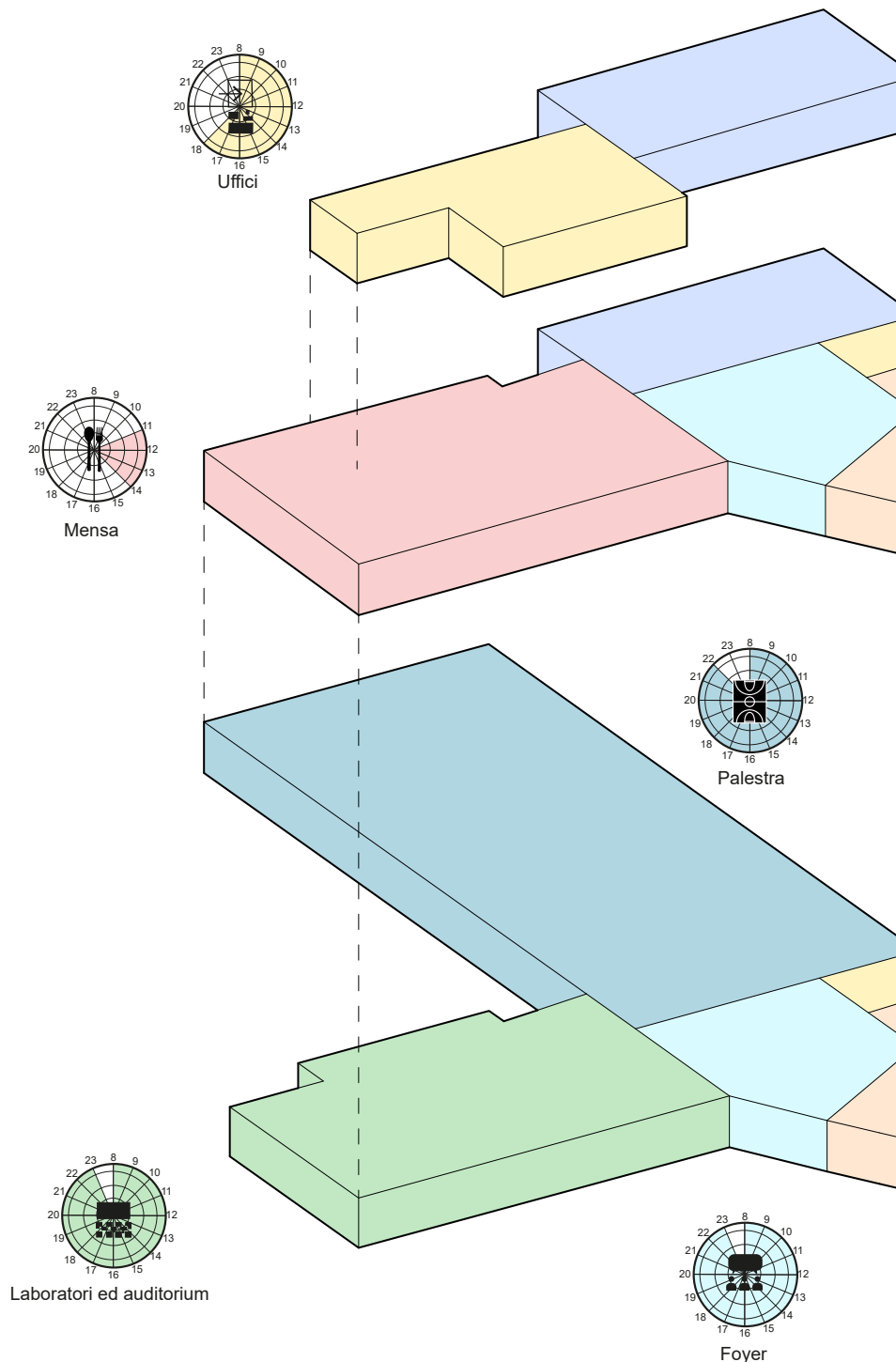
Blocco n.4



4.6 Organizzazione interna degli spazi

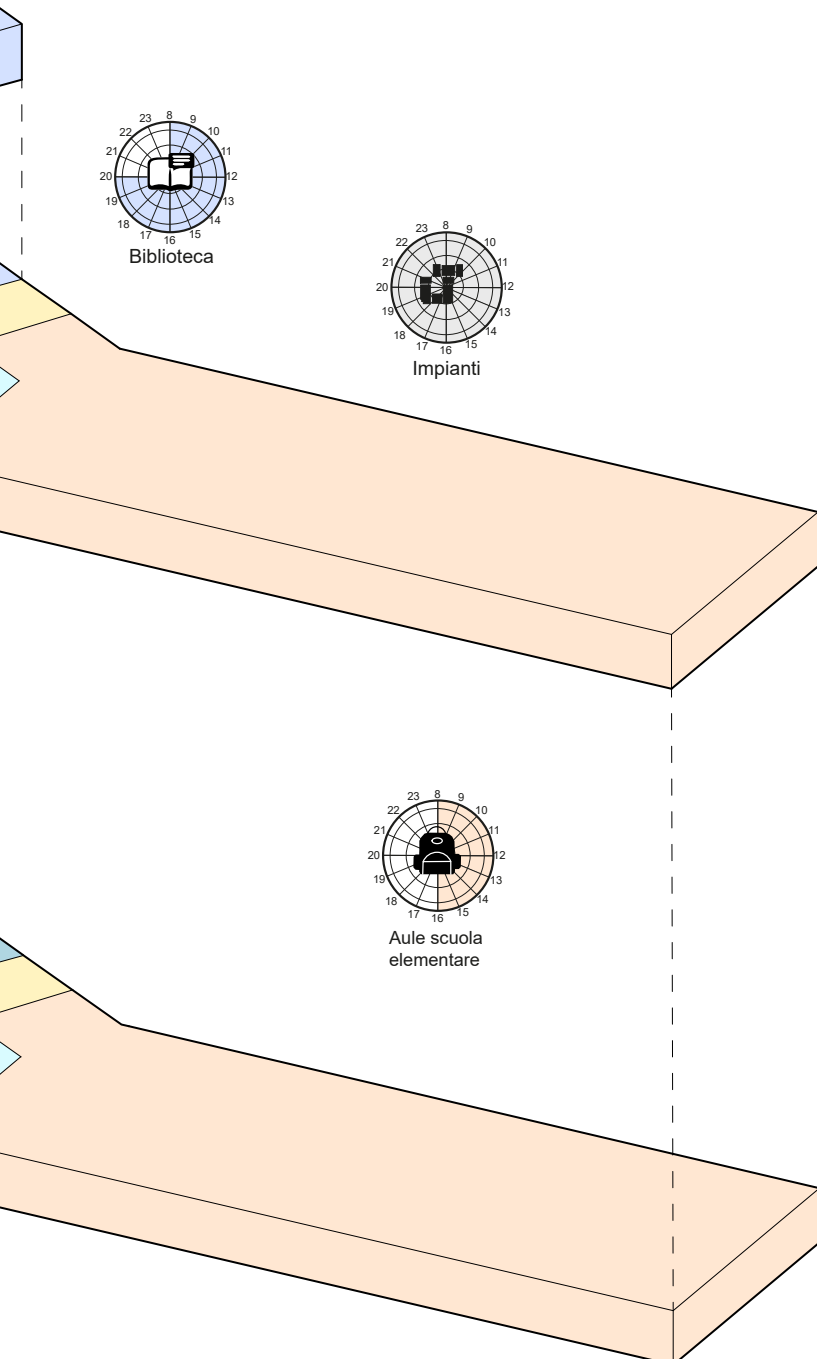
Gli spazi interni sono organizzati secondo una logica che permette alla scuola di offrire ambienti fruibili in momenti diversi della giornata, aumentando in modo significativo la versatilità e l'utilizzo complessivo della struttura. L'intero sistema ruota attorno al foyer principale, che svolge la funzione di nodo centrale e spazio di accoglienza per tutte le attività. La presenza di un piccolo ufficio di bidelleria e informazione consente di gestire gli accessi ai vari ambienti senza interferenze tra le diverse funzioni, permettendo così la coesistenza simultanea di attività differenti in piena autonomia.

Il progetto mira inoltre a definire nuovi poli di interazione sociale, capaci di rispondere alle esigenze di età e interessi diversi. Accanto al nucleo centrale rappresentato dalla scuola primaria



e dai suoi servizi, come la mensa, trovano posto i laboratori, la biblioteca e la palestra, che rimangono accessibili alla comunità in orari e condizioni che non interferiscono con lo svolgimento delle lezioni.

Questa articolazione consente all'edificio di essere utilizzato per gran parte della giornata: la scuola è attiva dalle prime ore del mattino, mentre laboratori, biblioteca e palestra possono prolungare le attività fino alla sera. Ne deriva un edificio vivo, attraversato e utilizzato da un numero crescente di persone, che si configura come un nuovo polo di riferimento per la comunità e riporta alla luce quella sua funzione di connettore sociale che da tempo era ormai stata abbandonata.

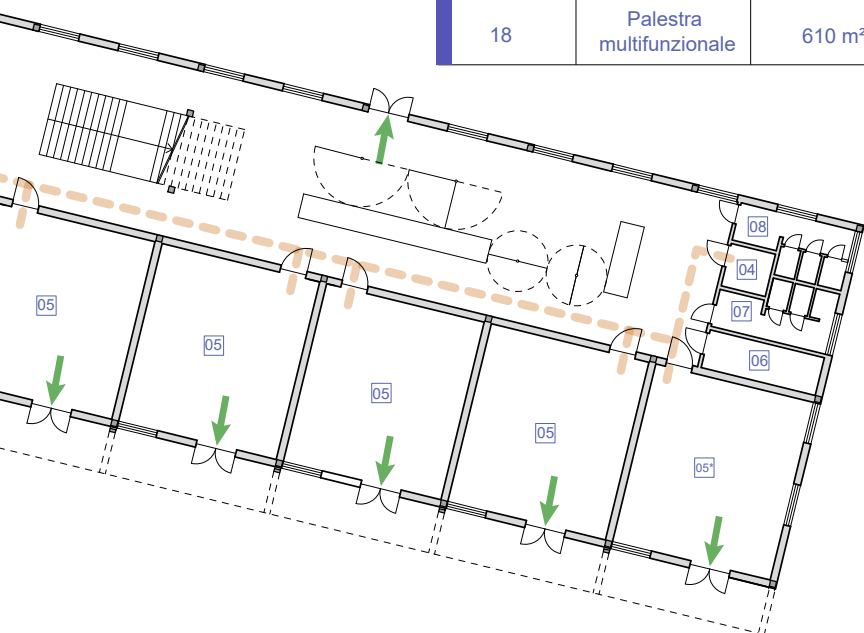


4.7 Planimetria piano terra

Osserviamo ora la planimetria del piano terra. L'ingresso principale si apre sul foyer, dove è collocata la scala che conduce al piano superiore. Sul lato destro si sviluppa il settore dedicato alla scuola primaria, con le aule del primo interciclo, organizzate per le classi dal primo al secondo anno. Nel corpo di fabbrica esistente trovano posto i laboratori, concepiti per essere utilizzati sia dagli alunni durante l'orario scolastico sia dalla comunità in fasce orarie extra-scolastiche. Proseguendo verso sud, il percorso conduce all'area della palestra: si incontrano prima gli spogliatoi e, successivamente, il campo di gioco vero e proprio.



Numero	Descrizione	Dimensione	Verifica aeroilluminata
01	Foyer principale	137 m ²	Non necessaria
02	Portineria	26.6 m ²	Sup. richiesta: 26.6/8= 3.32 m ² Sup. progetto: 1.54 x 2.7= 4.15 m ² ✓
03	Sala professori	15 m ²	Sup. richiesta: 15/8= 1.875 m ² Sup. progetto: 1.54 x 2.7= 4.15 m ² ✓
04	Bagno disabili	3.5 m ²	Non necessaria
05	Aula scolastica	50 m ²	Sup. richiesta: 50/8= 6.25 m ² Sup. progetto: (1.68 x 2.7) x 2 = 9.07 m ² ✓
05*	Aula scolastica	50 m ²	Sup. richiesta: 50/8= 6.25 m ² Sup. progetto: (1.68 x 2.7) x 4 = 18.1 m ² ✓
06	Locale tecnico aerazione	8 m ²	Non necessaria
07	Bagno maschile	10 m ²	Non necessaria
08	Bagno femminile	10 m ²	Non necessaria
09	Deposito	13 m ²	Non necessaria
10	Sala riunioni e attività	40 m ²	Sup. richiesta: 40/8= 5 m ² Sup. progetto: (1.8 x 2.7) x 2 = 8.1 m ² ✓
11	Sala workshop	40 m ²	Sup. richiesta: 40/8= 5 m ² Sup. progetto: (1.8 x 2.7) x 2 = 8.1 m ² ✓
12	Aula magna	82 m ²	Sup. richiesta: 82/8= 10.25 m ² Sup. progetto: (2 x 2.1) x 3 = 12.6 m ² ✓
13	Deposito	20 m ²	Non necessaria
14	Locale tecnico impianti termici	30 m ²	Non necessaria
15	Spogliatoio femminile	54 m ²	Non necessaria
16	Spogliatoio maschile	54 m ²	Non necessaria
17	Deposito materiale	14 m ²	Non necessaria
18	Palestra multifunzionale	610 m ²	Sup. richiesta: 610/8= 76.25 m ² Sup. progetto: (1.6 x 2.7) x 32 = 138.24 m ² ✓



— — — — — Percorso privo di barriere



Uscite di emergenza

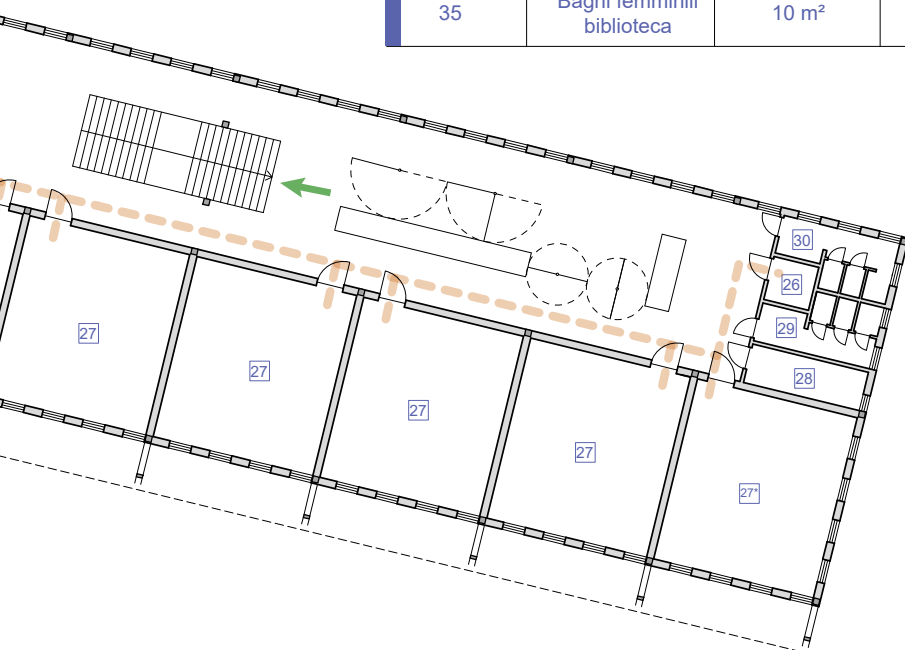
4.8 Planimetria piano primo

Arrivando al piano primo si individuano due ingressi posti alla quota del terreno, caratteristica che li rende ideali anche per persone con disabilità, le quali possono accedere direttamente al livello senza ricorrere all'ascensore. Come al piano terra, sul lato destro si sviluppa il settore dedicato alla scuola primaria per il secondo interciclo, comprendente le classi dal terzo al quinto anno.

Nella porzione di nuova costruzione trova posto il primo livello della biblioteca, mentre nel corpo di fabbrica preesistente è stato inserito il refettorio, collocato esattamente dove si trovava la mensa della precedente RSA.



Numero	Descrizione	Dimensione	Verifica aeroilluminata
19	Sala da pranzo mensa	175 m ²	Sup. richiesta: $175/8 = 21.8$ m ² Sup. progetto: $(2 \times 2.1) \times 2 + (2 \times 1.5) \times 7 = 29.4$ m ² ✓
20	Cucina mensa	75 m ²	Sup. richiesta: $75/8 = 9.37$ m ² Sup. progetto: $(1.3 \times 1.5) \times 2 + 2.8 \times 2.1 = 9.78$ m ² ✓
21	Deposito cucina	19 m ²	Non necessaria
22	Spogliatoi disabili	3 m ²	Non necessaria
23	Spogliatoio personale maschile	6 m ²	Non necessaria
24	Spogliatoio personale femminile	6 m ²	Non necessaria
25	Bagno personale	3.5 m ²	Non necessaria
26	Bagno disabili	3.5 m ²	Non necessaria
27	Aula scolastica	50 m ²	Sup. richiesta: $50/8 = 6.25$ m ² Sup. progetto: $(0.9 \times 2.7) \times 4 = 9.72$ m ² ✓
27*	Aula scolastica	50 m ²	Sup. richiesta: $50/8 = 6.25$ m ² Sup. progetto: $(0.9 \times 2.7) \times 8 = 19.44$ m ² ✓
28	Locale tecnico fotovoltaico	8 m ²	Non necessaria
29	Bagni femminili	10 m ²	Non necessaria
30	Bagni maschili	10 m ²	Non necessaria
31	Portineria	26.6 m ²	Sup. richiesta: $26.6/8 = 3.32$ m ² Sup. progetto: $(0.9 \times 2.7) \times 3 = 7.29$ m ² ✓
32	Sala professori	15 m ²	Sup. richiesta: $15/8 = 1.875$ m ² Sup. progetto: $(0.9 \times 2.7) \times 2 = 4.86$ m ² ✓
33	Biblioteca	120 m ²	Sup. richiesta: $120/8 = 15$ m ² Sup. progetto: $(2 \times 2.7) \times 4 = 21.6$ m ²
34	Bagni maschili biblioteca	10 m ²	Non necessaria
35	Bagni femminili biblioteca	10 m ²	Non necessaria



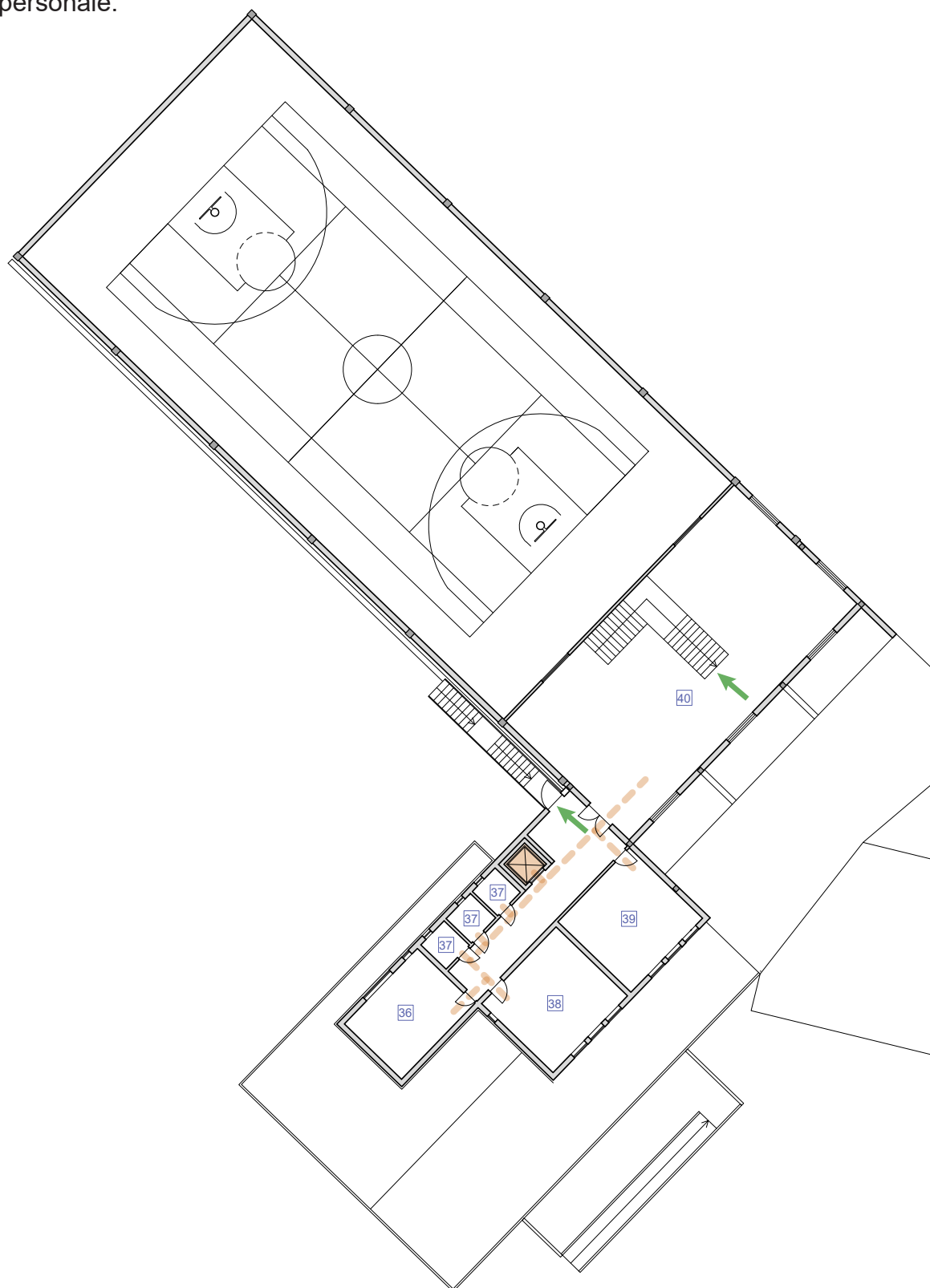
— — — — — Percorso privo di barriere

↑ Uscite di emergenza


4.9 Planimetria piano secondo


Al piano secondo si sviluppa il livello superiore della biblioteca, raggiungibile sia tramite la scala interna posta al piano primo della stessa, sia attraverso l'ascensore collocato nel corpo originario del fabbricato.

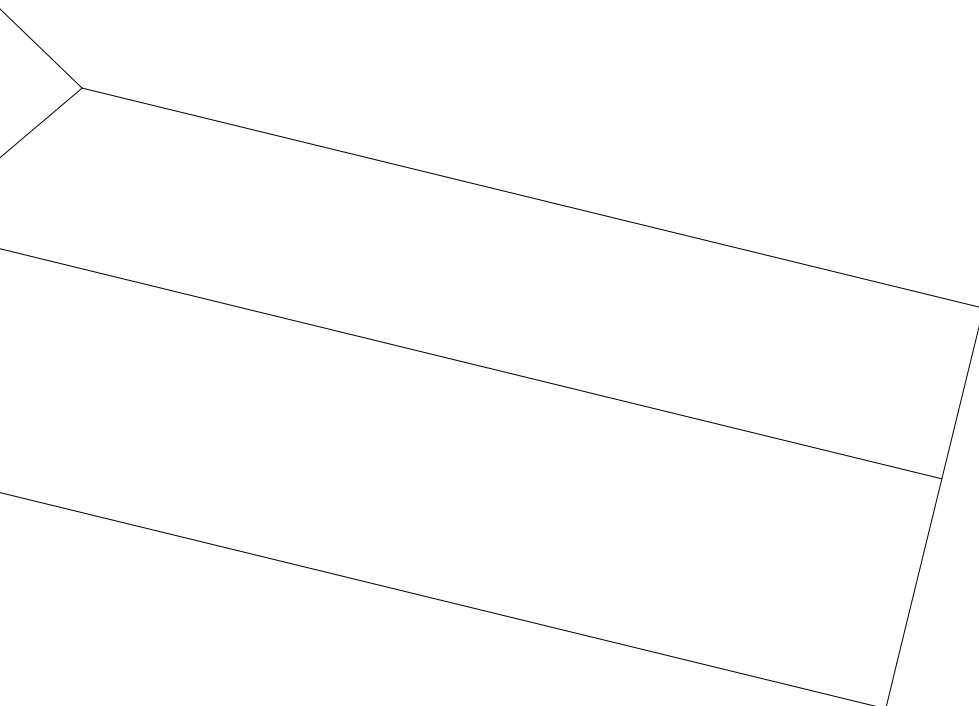
Sempre all'interno del corpo preesistente trovano posto gli uffici amministrativi e didattici della scuola, organizzati in modo da costituire il centro operativo delle attività gestionali e di coordinamento dell'istituto. La loro collocazione al piano secondo permette di mantenere un rapporto diretto con gli altri livelli funzionali dell'edificio, pur assicurando un adeguato grado di riservatezza e concentrazione per il personale.



Numero	Descrizione	Dimensione	Verifica aeroilluminata
36	Ufficio del preside	23 m ²	Sup. richiesta: $23/8 = 2.87 \text{ m}^2$ Sup. progetto: $2 \times 1.5 + 0.5 \times 1.5 = 3.7 \text{ m}^2$ ✓
37	Bagni disabili	3.5 m ²	Non necessaria
38	Ufficio direzione del personale	29 m ²	Sup. richiesta: $29/8 = 3.62 \text{ m}^2$ Sup. progetto: $(1 \times 1.5) \times 3 = 4.5 \text{ m}^2$ ✓
39	Ufficio segreteria didattica	29 m ²	Sup. richiesta: $29/8 = 3.62 \text{ m}^2$ Sup. progetto: $(1 \times 1.5) \times 3 = 4.5 \text{ m}^2$ ✓
40	Biblioteca	140 m ²	Sup. richiesta: $140/8 = 17.5 \text{ m}^2$ Sup. progetto: $(2 \times 2.7) \times 4 = 21.6 \text{ m}^2$ ✓

 Percorso privo di barriere

 Uscite di emergenza

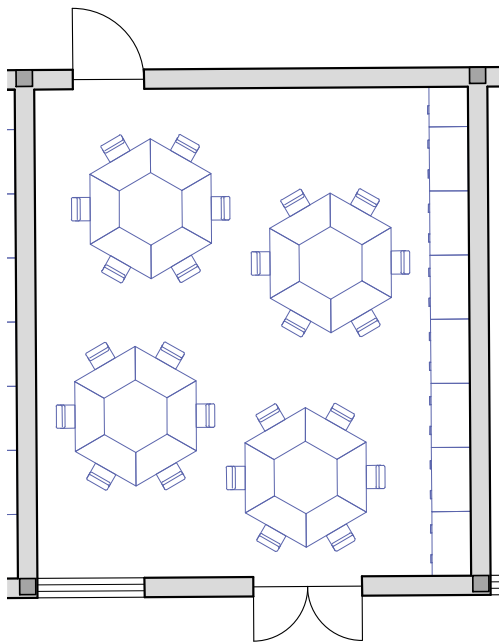


4.10 Calcolo fattore medio di luce diurna

Dopo aver verificato la corretta dimensione degli spazi in relazione ai requisiti aeroilluminanti, si è ritenuto necessario procedere anche con la valutazione del fattore medio di luce diurna, così da ottenere un parametro più coerente con gli standard contemporanei di progettazione illuminotecnica.

Per il calcolo del FLD sono stati considerati innanzitutto i dati geometrici delle aule, includendo la superficie utile e la superficie finestrata effettivamente illuminante, depurata dalla percentuale occupata dai telai dei serramenti. Successivamente si è tenuto conto della trasmittanza luminosa del vetro e della riflettanza media interna, parametro fortemente influenzato dalle colorazioni adottate per pareti, soffitti e arredi. Nei calcoli è stato utilizzato un coefficiente di riflettanza relativamen-

Aula tipo piano terra



1. Dimensione aula (a)

$$A = 7.55 \times 6.70 = 50.58 \text{ m}^2$$

2. Dimensione finestre (b)

$$\text{N.2 finestre da } 2.70 \times 1.65 \quad A = 2 \times (2.70 \times 1.65) = 8.91 \text{ m}^2$$

3. Dimensione con telaio finestre - avendo una riduzione di circa il 20% (c)

$$A = 8.91 \times 0.80 = 7.128 \text{ m}^2$$

4. Trasmittanza vetro (d)

consideriamo un valore di $0.60 \text{ W/m}^2\text{k}$

5. Riflettanza media interna (e)

considerando di utilizzare colori chiari abbiamo un coefficiente $R = 0.6$

6. fattore di cielo visibile (f)

considerando gli aggetti delle finestre abbiamo un valore di 0.6

$$\text{FMLD} = (d \times c \times f / a \times e) \times 100 = (0.6 \times 7.128 \times 0.6 / 50.585 \times 0.6) \times 100 = 8.45 \%$$

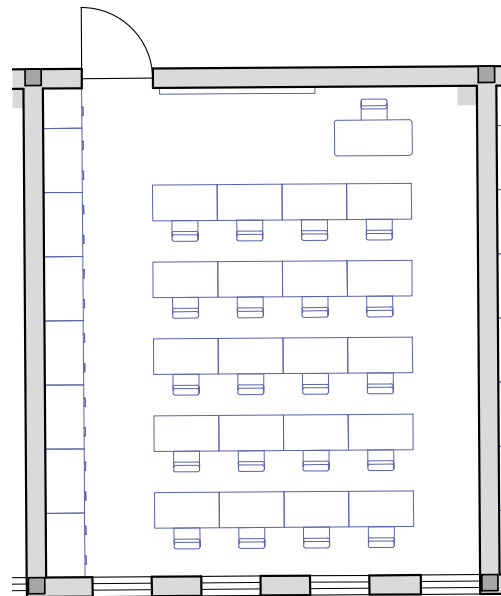
Calcolo del fattore medio di luce diurna per un'aula tipo del piano terra



te basso, poiché le aule saranno caratterizzate da tinte tenui, non eccessivamente saturi né particolarmente vivaci.

Un ulteriore elemento considerato è stato il fattore di cielo visibile, che valuta la presenza di eventuali ostruzioni o oggetti in grado di limitare l'ingresso della luce naturale. Proprio questo parametro evidenzia la differenza tra l'aula del piano terra e quella del piano primo: quest'ultima risulta penalizzata dall'ombra generata dal marcato oggetto della copertura, che riduce sensibilmente la porzione di cielo visibile e, di conseguenza, il valore finale del FLD. Nonostante tale differenza, entrambe le aule superano ampiamente il valore minimo richiesto: per gli ambienti scolastici è infatti considerato adeguato un Fattore di Luce Diurna superiore al 3%, valore che risulta pienamente verificato in entrambi i casi.

Aula tipo piano primo



1. Dimensione aula (a)

$$A = 7.55 \times 6.70 = 50.58 \text{ m}^2$$

2. Dimensione finestre (b)

$$N.4 \text{ finestre da } 2.70 \times 0.9 \quad A = 4 \times (2.70 \times 0.9) = 9.72 \text{ m}^2$$

3. Dimensione con telaio finestre - avendo una riduzione di circa il 20% (c)

$$A = 9.72 \times 0.80 = 7.776 \text{ m}^2$$

4. Trasmittanza vetro (d)

consideriamo un valore di $0.60 \text{ W/m}^2\text{k}$

5. Riflettanza media interna (e)

considerando di utilizzare colori chiari abbiamo un coefficiente $R = 4$

6. fattore di cielo visibile (f)

considerando gli aggetti delle finestre abbiamo un valore di 0.4

$$FMLD = (d \times c \times f / a \times e) \times 100 = (0.6 \times 7.776 \times 0.4 / 50.585 \times 0.6) \times 100 = 6.15 \%$$

Calcolo del fattore medio di luce diurna per un'aula tipo del piano primo

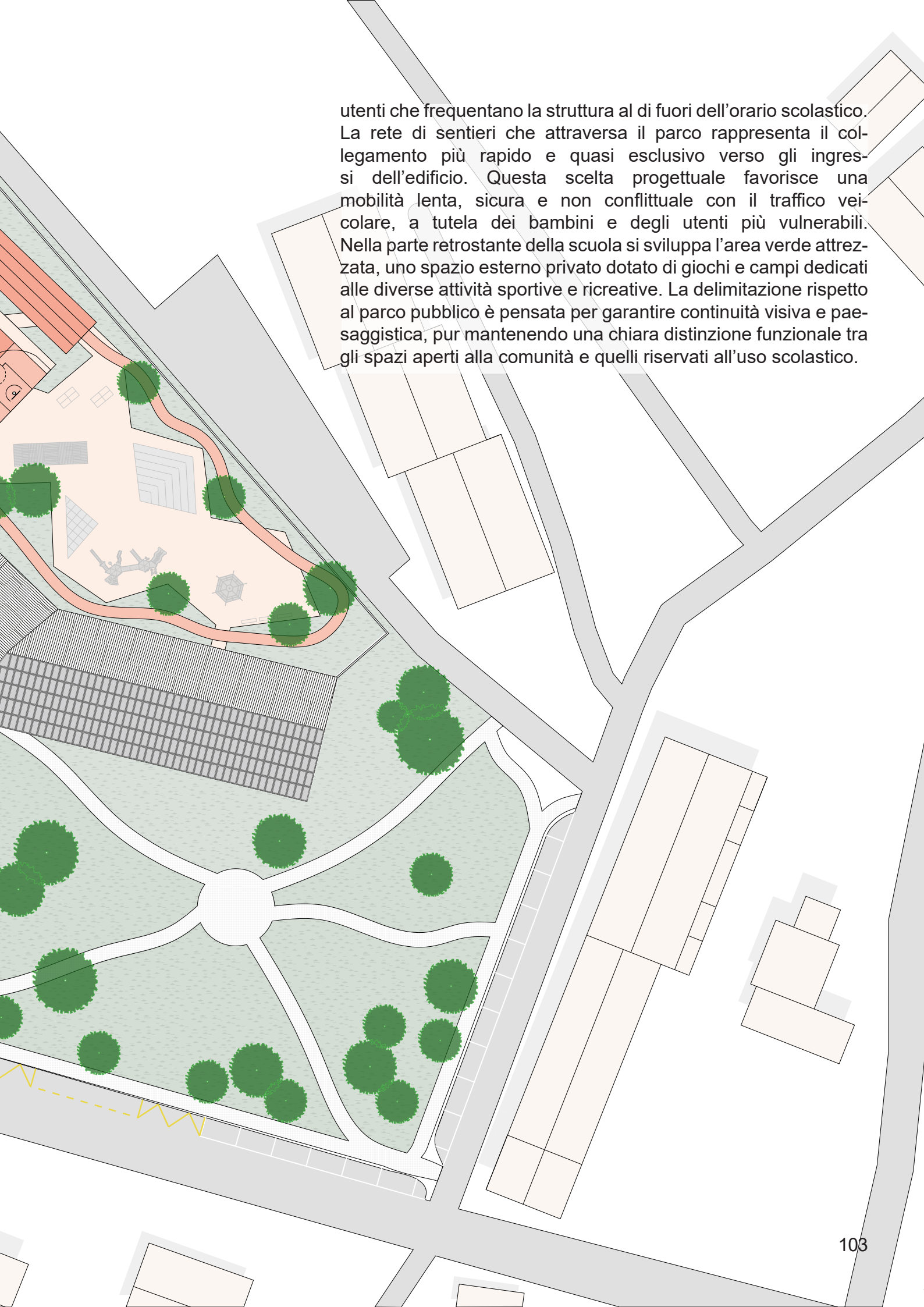


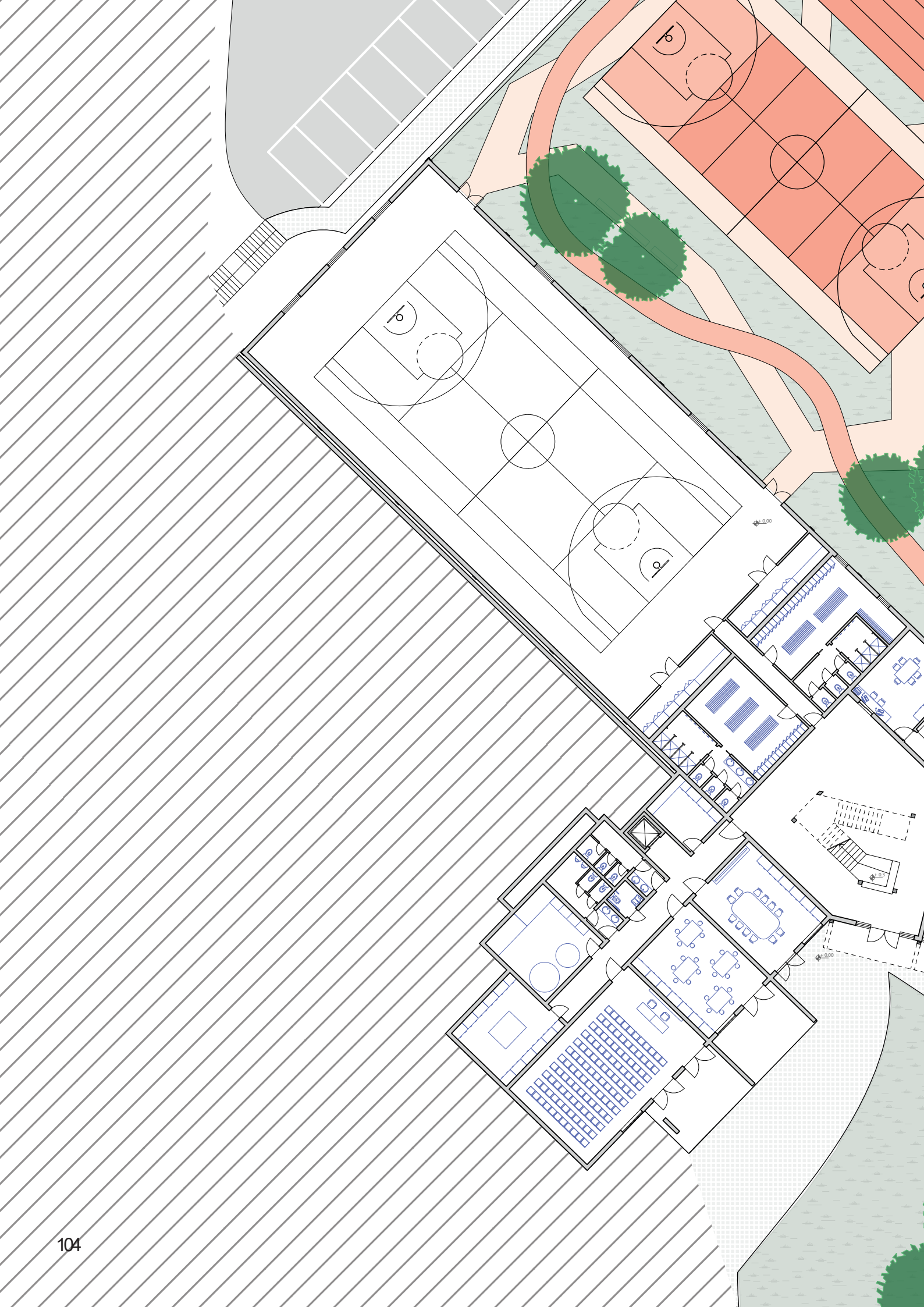
4.11 Masterplan di progetto

Analizzando il progetto a una scala più ampia, è possibile osservare la diversa organizzazione dell'intero lotto. In primo luogo si individuano le aree destinate alla sosta di automobili e autobus, pensate principalmente per la fermata temporanea durante l'accompagnamento dei bambini. Da queste zone di arrivo si sviluppano i percorsi pedonali che conducono direttamente all'ingresso principale dell'edificio. Sono inoltre presenti altri due parcheggi, uno più vicino al fabbricato è destinato prevalentemente al personale scolastico e alle persone con disabilità, poiché garantisce un accesso privo di barriere architettoniche; il secondo parcheggio, più esterno, è invece pensato per gli ospiti e per gli



utenti che frequentano la struttura al di fuori dell'orario scolastico. La rete di sentieri che attraversa il parco rappresenta il collegamento più rapido e quasi esclusivo verso gli ingressi dell'edificio. Questa scelta progettuale favorisce una mobilità lenta, sicura e non conflittuale con il traffico veicolare, a tutela dei bambini e degli utenti più vulnerabili. Nella parte retrostante della scuola si sviluppa l'area verde attrezzata, uno spazio esterno privato dotato di giochi e campi dedicati alle diverse attività sportive e ricreative. La delimitazione rispetto al parco pubblico è pensata per garantire continuità visiva e paesaggistica, pur mantenendo una chiara distinzione funzionale tra gli spazi aperti alla comunità e quelli riservati all'uso scolastico.

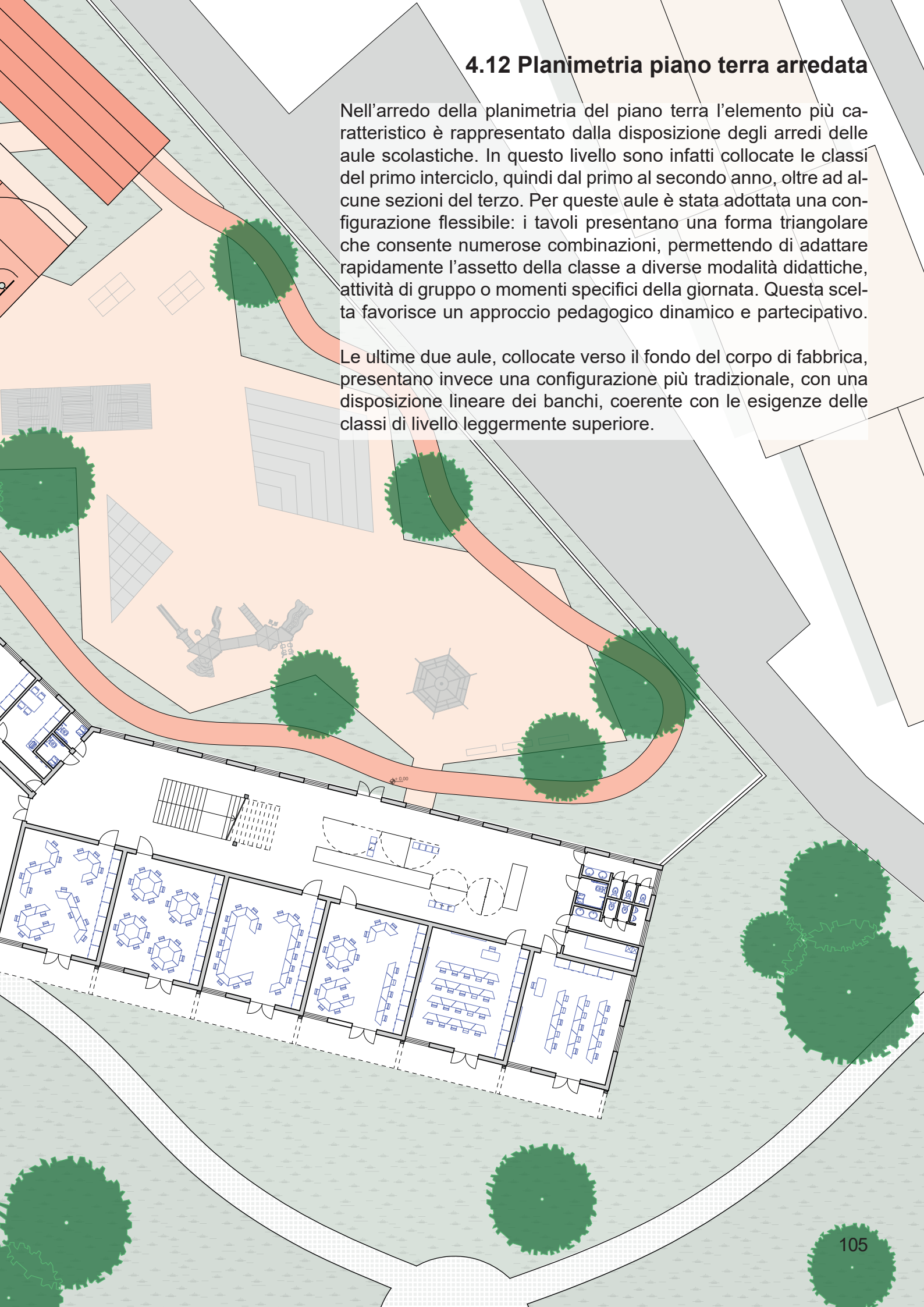


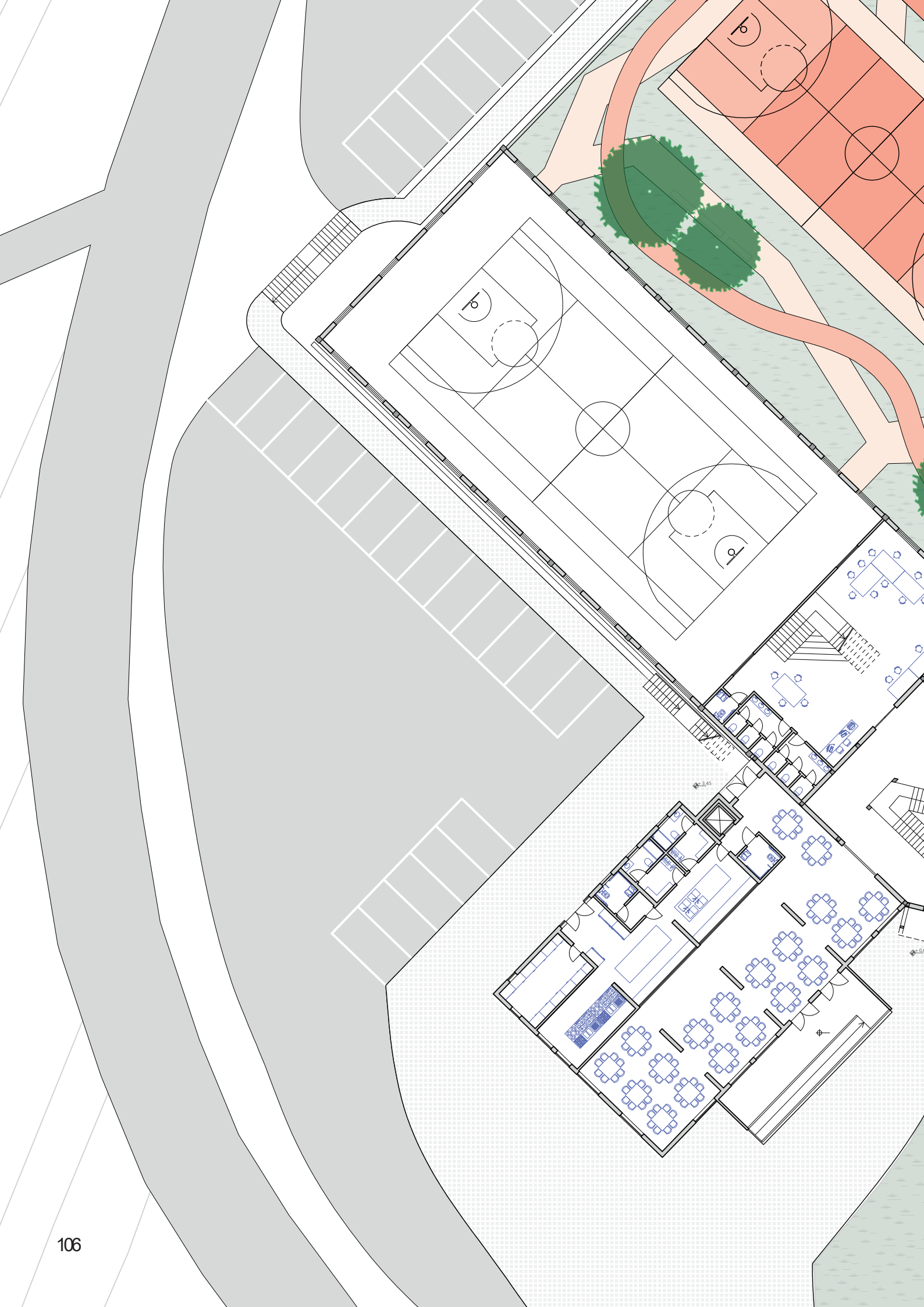


4.12 Planimetria piano terra arredata

Nell'arredo della planimetria del piano terra l'elemento più caratteristico è rappresentato dalla disposizione degli arredi delle aule scolastiche. In questo livello sono infatti collocate le classi del primo interciclo, quindi dal primo al secondo anno, oltre ad alcune sezioni del terzo. Per queste aule è stata adottata una configurazione flessibile: i tavoli presentano una forma triangolare che consente numerose combinazioni, permettendo di adattare rapidamente l'assetto della classe a diverse modalità didattiche, attività di gruppo o momenti specifici della giornata. Questa scelta favorisce un approccio pedagogico dinamico e partecipativo.

Le ultime due aule, collocate verso il fondo del corpo di fabbrica, presentano invece una configurazione più tradizionale, con una disposizione lineare dei banchi, coerente con le esigenze delle classi di livello leggermente superiore.



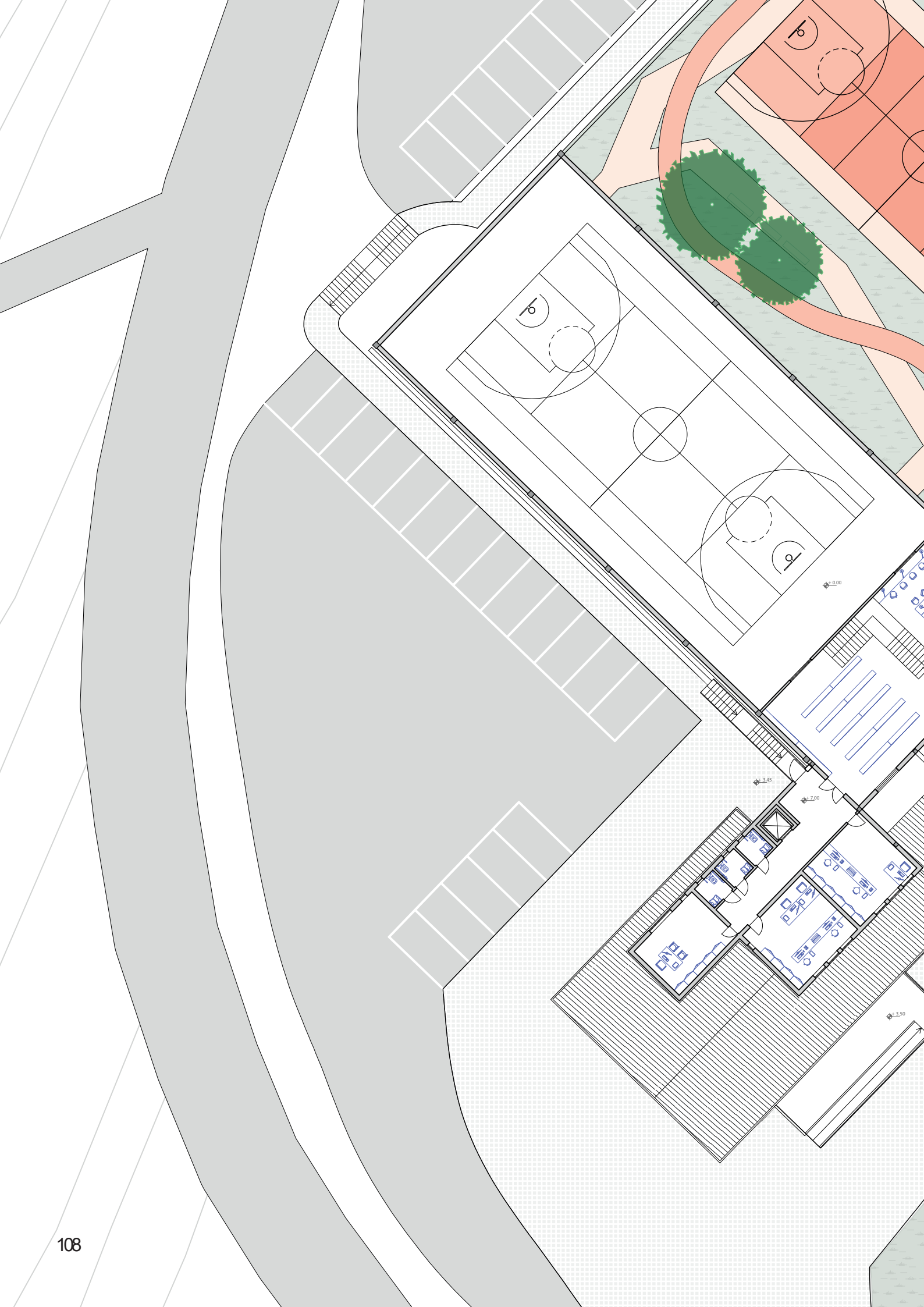


4.13 Planimetria piano primo arredata

All'interno del piano primo l'elemento di arredo più significativo è senza dubbio la mensa, organizzata in modo lineare e caratterizzata dalla presenza di ampie aperture tra la cucina e la sala da pranzo. Questa soluzione consente un servizio rapido ed efficiente dei pasti per i diversi gruppi di studenti. La sala è arredata con tavoli di dimensioni contenute, pensati per limitare il rumore e il caos durante l'orario di pranzo; La gestione avverrà presumibilmente tramite turnazioni, così da garantire un ambiente più ordinato e confortevole.

Un altro elemento caratterizzante è il piano terra della biblioteca, concepito come spazio polifunzionale: sono presenti grandi tavoli destinati allo svolgimento dei compiti nelle ore pomeridiane e tavoli digitali interattivi per attività didattiche più dinamiche. Anche la scala interna diventa un'opportunità progettuale, i gradoni sono pensati come sedute informali per la lettura, il gioco e lo svolgimento di attività collettive, trasformando il collegamento verticale in uno spazio educativo e relazionale.



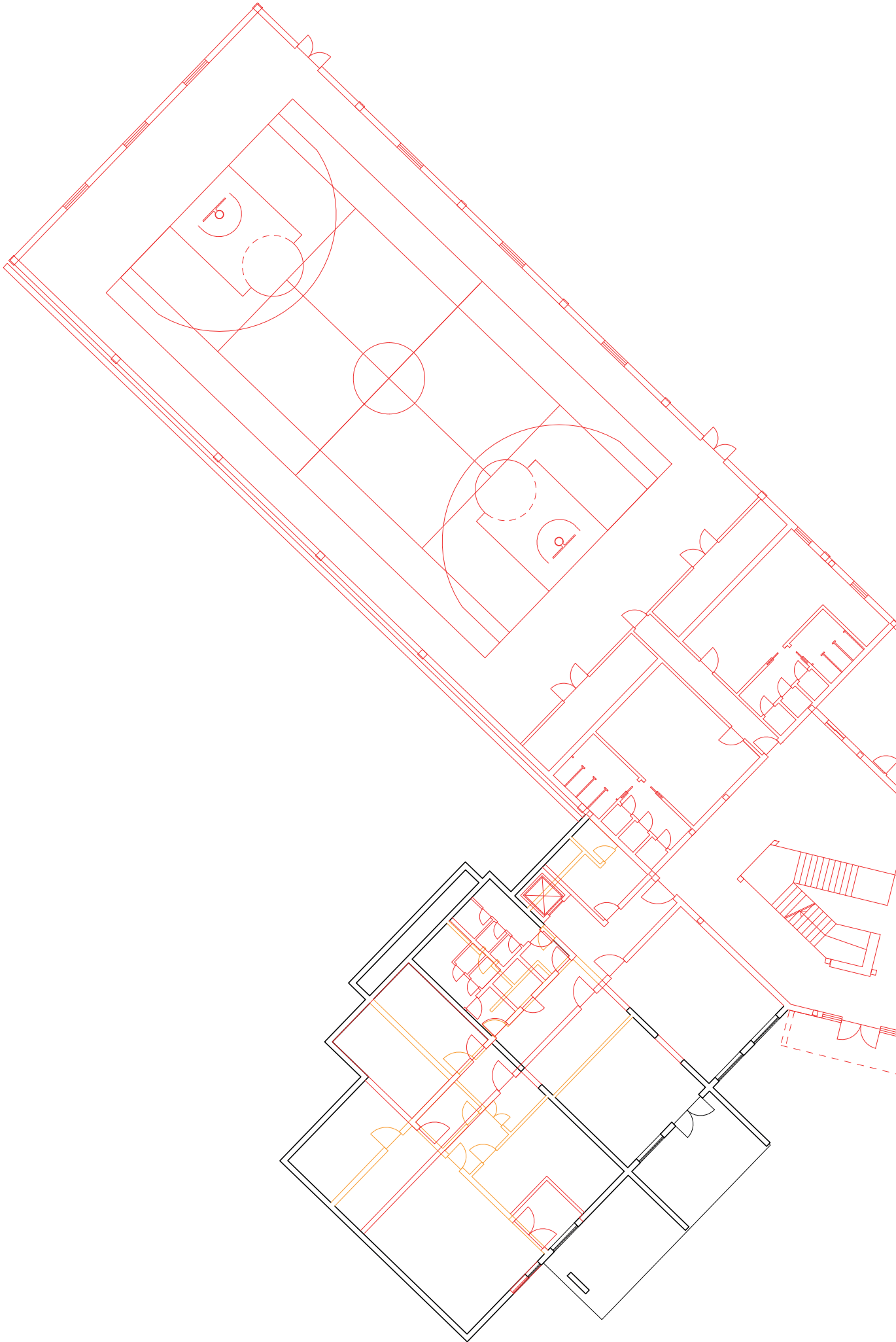


4.14 Planimetria piano secondo arredata

Al piano secondo l'elemento di arredo più significativo è la biblioteca, concepita come uno spazio dedicato principalmente a studenti di età superiore. L'ambiente è organizzato come una grande sala studio, pensata in particolare per gli studenti fuori sede che, rientrando nei fine settimana, necessitano di un luogo tranquillo, luminoso e adeguato alla concentrazione. La città ospita infatti numerose persone che, per motivi di studio o lavoro, si spostano durante la settimana e ricercano nel weekend spazi silenziosi e ispiranti. La biblioteca è inoltre configurata come un'aula dedicata alla lettura, favorita dalla presenza di scaffalature aperte e liberamente consultabili, che rendono immediato l'accesso ai volumi e incoraggiano un uso spontaneo dello spazio.

Dalla planimetria emerge chiaramente anche la presenza estesa dei pannelli fotovoltaici collocati sulla copertura dell'edificio. Questi elementi risultano fondamentali per contribuire in modo significativo alla copertura del fabbisogno energetico richiesto, integrandosi con coerenza nella strategia complessiva di sostenibilità del progetto.

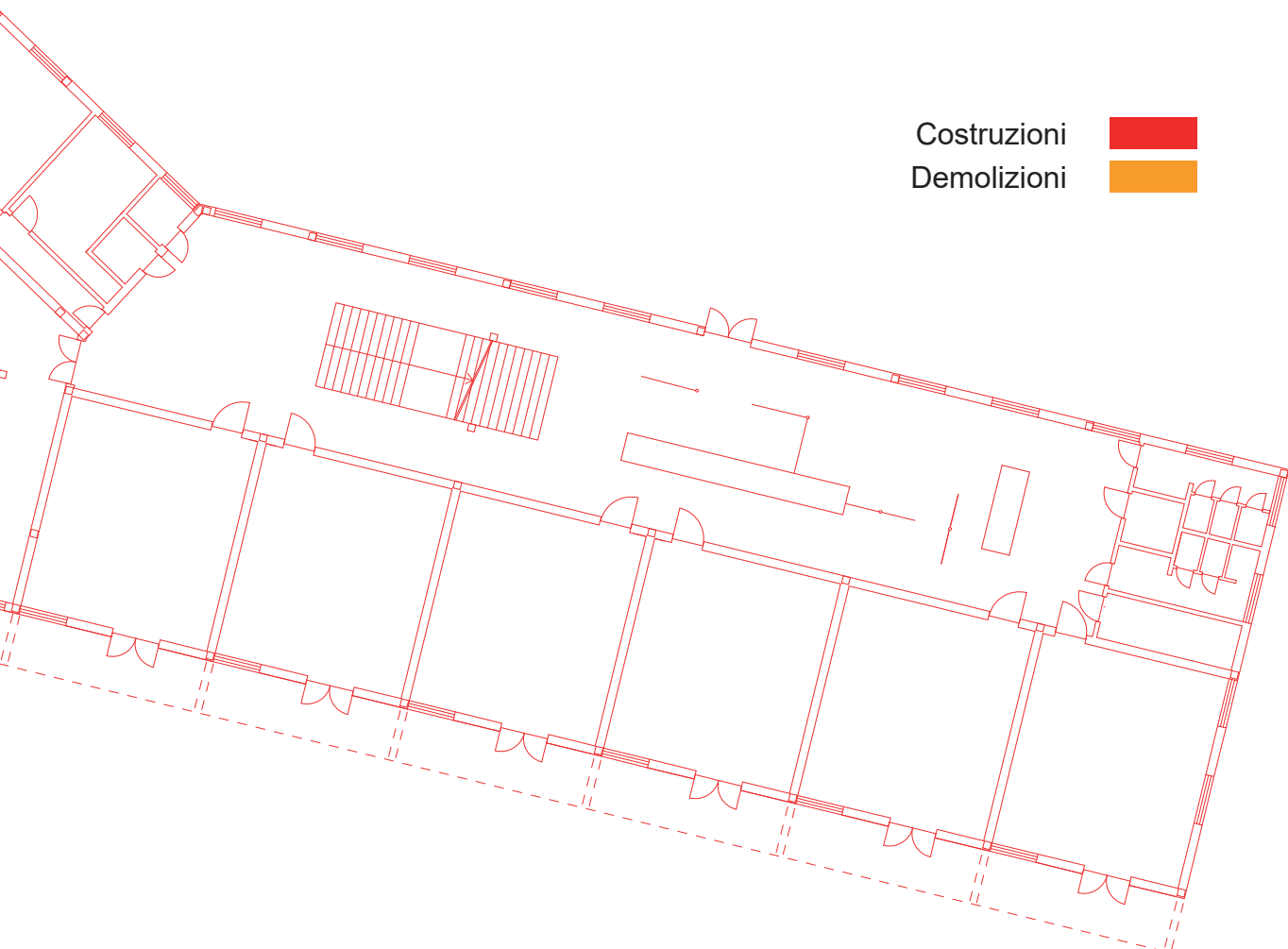


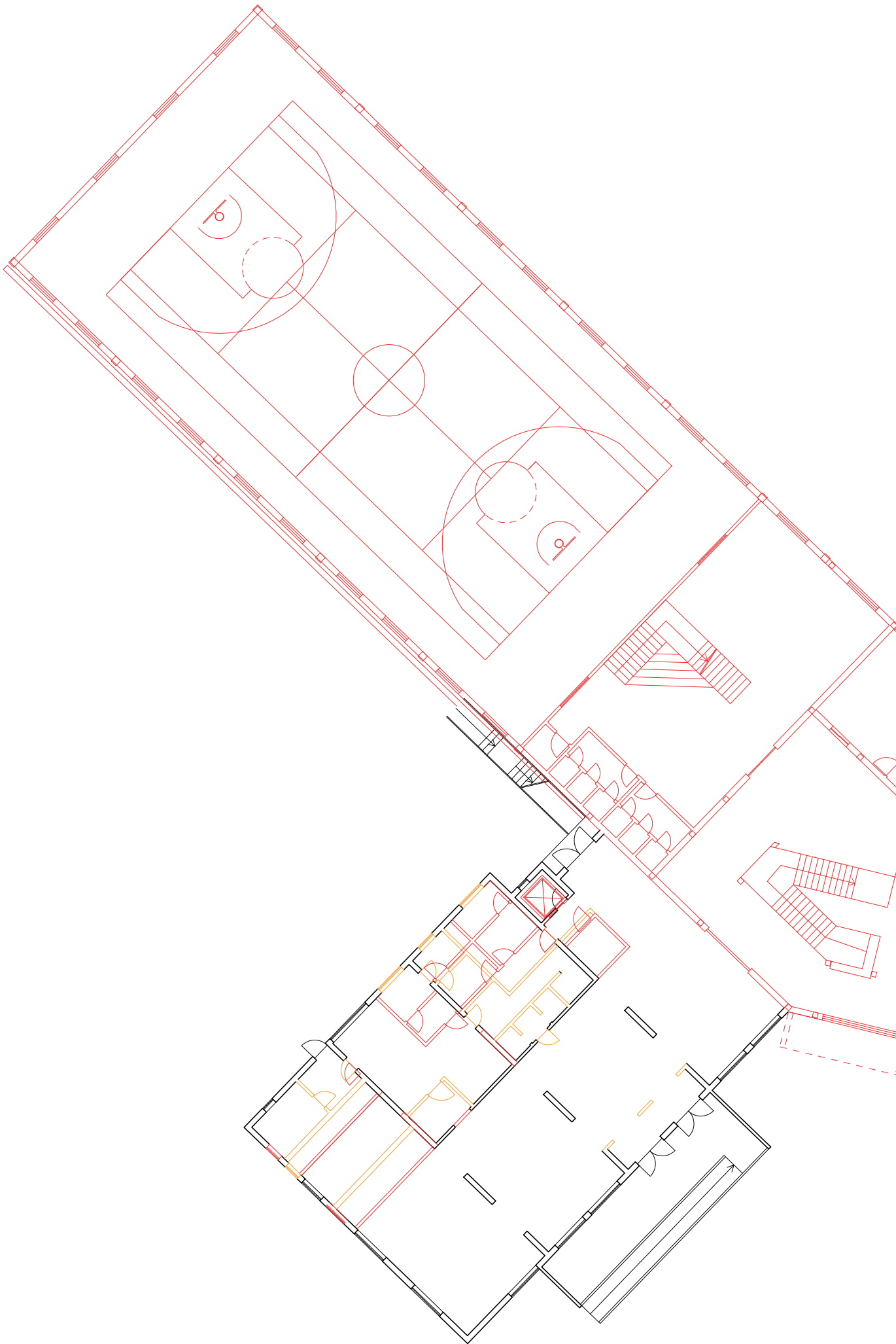


4.15 Planimetria piano terra demolizioni e costruzioni

Nella planimetria di confronto tra demolizioni e nuove costruzioni del piano terra è possibile osservare come gli interventi sulle murature interne del fabbricato preesistente siano piuttosto significativi, pur avendo cercato, per quanto possibile, di limitare la rimozione dei setti portanti. Questa scelta progettuale ha permesso di evitare l'inserimento di sistemi di sostegno aggiuntivi, mantenendo un equilibrio tra la necessità di riorganizzare gli spazi e quella di preservare la struttura originaria. All'interno della tavola risulta inoltre chiaramente leggibile il posizionamento del nuovo ascensore e il punto esatto da cui ha origine il suo vano corsa, elemento fondamentale per garantire l'accessibilità verticale dell'edificio.

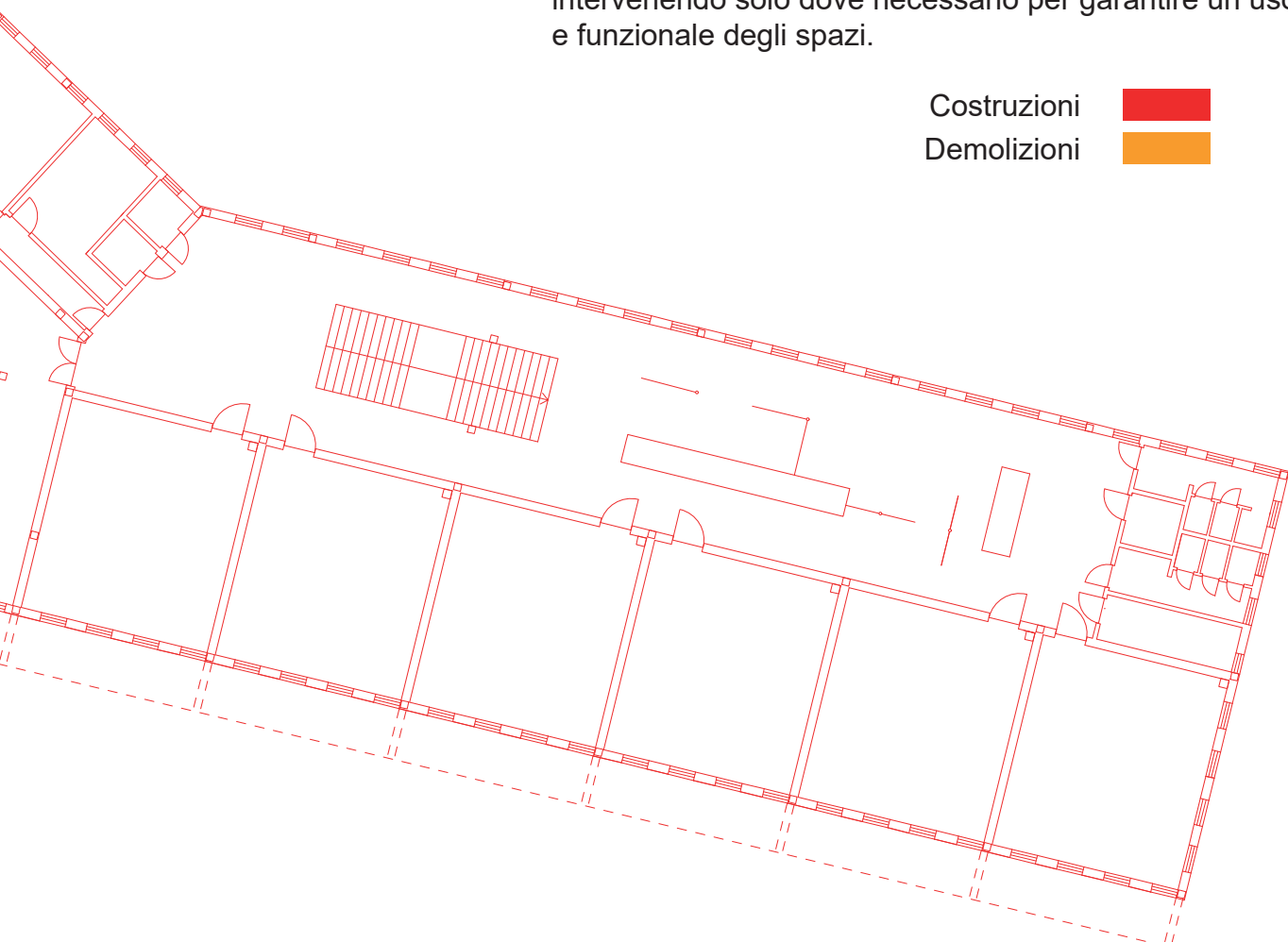
Accanto alle modifiche interne, la planimetria evidenzia anche la presenza del grande corpo di nuova costruzione, che rappresenta l'intervento più consistente dell'intero progetto. La sua volumetria si integra con il fabbricato esistente, ma al tempo stesso ne costituisce l'ampliamento principale, assumendo un ruolo determinante nella ridefinizione complessiva degli spazi e delle funzioni del piano terra.

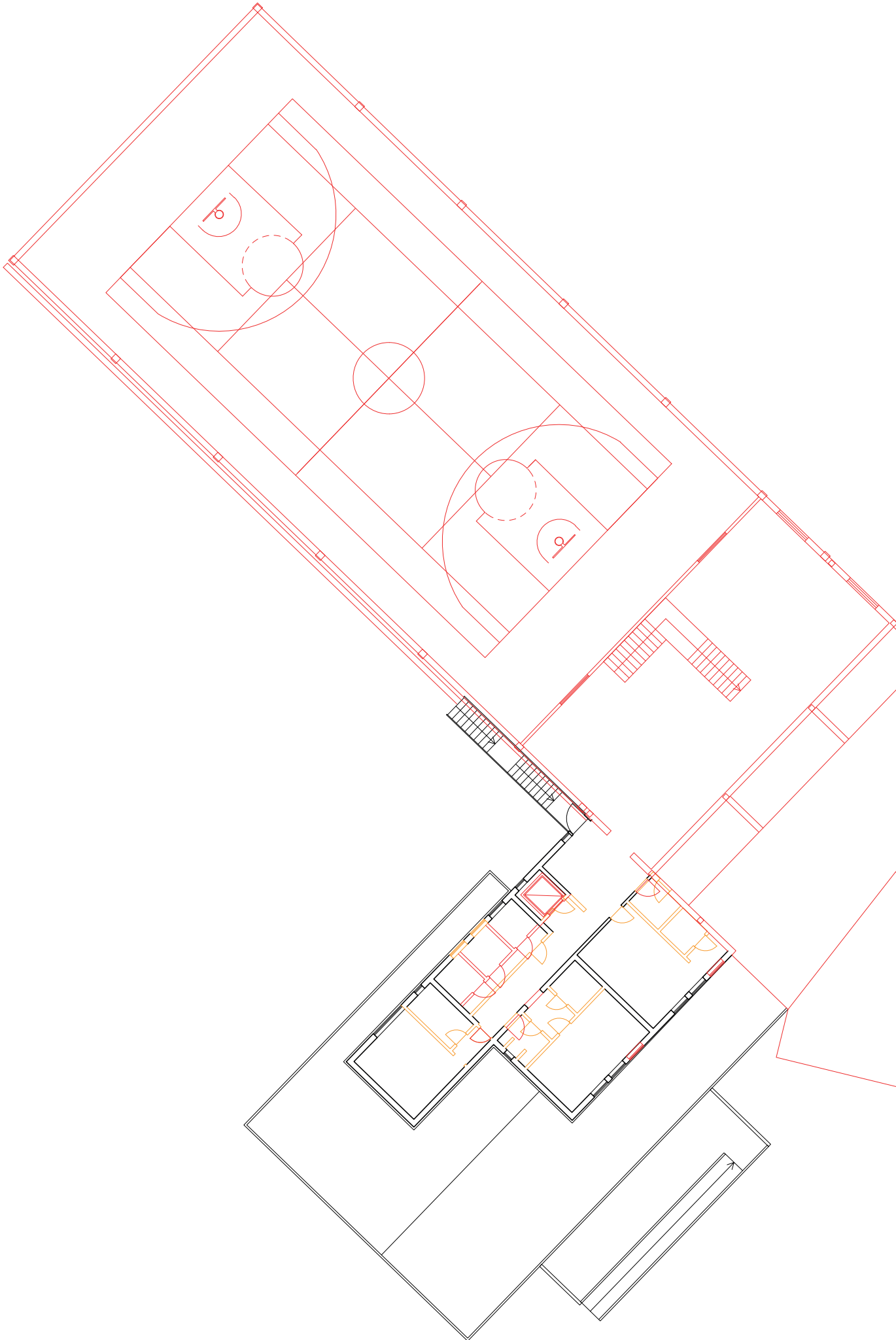




4.16 Planimetria piano primo demolizioni e costruzioni

All'interno della planimetria di confronto del piano primo si può osservare come le modifiche risultino decisamente più contenute rispetto a quelle previste al piano terra. Questo avviene perché, come già evidenziato nel concept progettuale, gli spazi residui del fabbricato preesistente presentavano caratteristiche e dimensioni già molto vicine alle esigenze funzionali della scuola, rendendo quindi superflui interventi invasivi. La scelta è stata quella di conservare il più possibile l'impianto originario, intervenendo solo dove strettamente necessario per adeguare gli ambienti alla nuova destinazione d'uso. L'area della mensa rappresenta l'unico punto in cui si è resa indispensabile una riorganizzazione muraria più evidente. Pur mantenendo la stessa posizione all'interno del fabbricato, la sua configurazione interna è stata modificata per rispondere alle esigenze specifiche di una mensa scolastica, che richiede spazi dedicati alla distribuzione del cibo e percorsi più funzionali rispetto a quelli della precedente RSA. Questi adeguamenti hanno comportato alcuni cambiamenti volumetrici mirati, senza però alterare in modo significativo la struttura complessiva. Per quanto riguarda invece la sala principale, gli interventi risultano quasi nulli. L'ambiente possedeva già le dimensioni adeguate e una conformazione compatibile con le nuove funzioni previste, rendendo quindi possibile conservarlo nella sua configurazione originaria. La planimetria evidenzia così un piano primo che mantiene una forte continuità con il fabbricato esistente, intervenendo solo dove necessario per garantire un uso corretto e funzionale degli spazi.

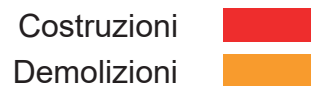






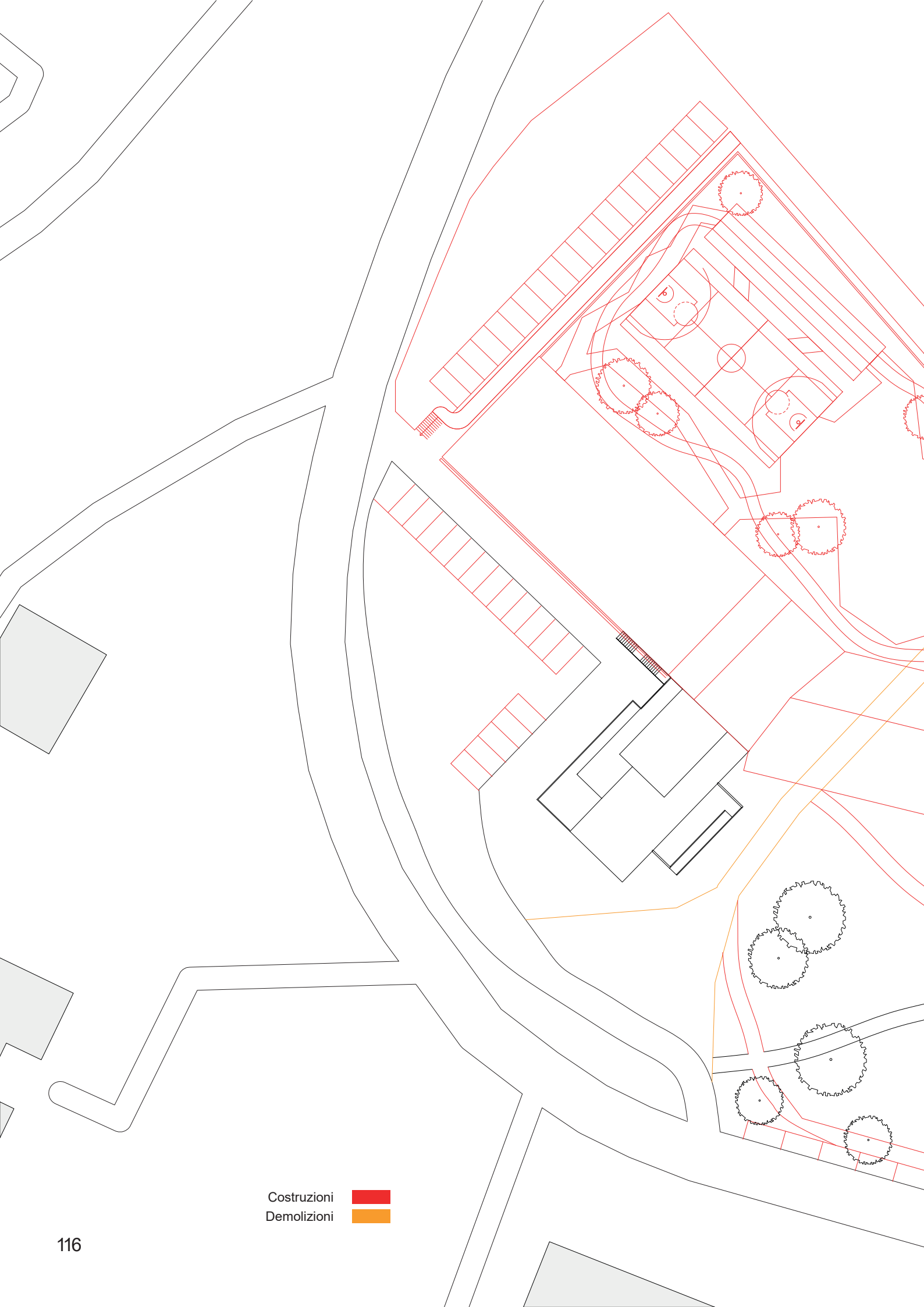
4.17 Planimetria piano secondo demolizioni e costruzioni

Nella planimetria di confronto del piano secondo si nota immediatamente come la parte esterna del fabbricato sia stata mantenuta nella sua interezza, senza interventi significativi né modifiche sostanziali alla sagoma o ai prospetti. Questa scelta deriva dalla volontà di preservare l'immagine originaria dell'edificio, intervenendo solo dove realmente necessario per adeguarlo alla nuova funzione scolastica. Le trasformazioni più evidenti riguardano invece gli spazi interni. Essendo il piano secondo precedentemente destinato a camere per i pazienti della RSA, la distribuzione interna era caratterizzata da una fitta suddivisione in piccoli ambienti, una configurazione non compatibile con le esigenze di un piano dedicato agli uffici scolastici. Per questo motivo si è reso necessario un intervento prevalentemente demolitorio, volto a rimuovere le vecchie stanze e a liberare lo spazio da partizioni non più utili. La nuova organizzazione interna richiede infatti ambienti più ampi, flessibili e facilmente riconfigurabili, caratteristiche che mal si conciliavano con la precedente compartimentazione.

Il risultato è un piano secondo che conserva integralmente il volume esterno del fabbricato, ma che al suo interno viene ripensato in modo più funzionale e coerente con le nuove attività previste, garantendo spazi di lavoro adeguati e una distribuzione più razionale.



Costruzioni 
Demolizioni 



Costruzioni ■
Demolizioni ■

4.18 Planimetria coperture demolizioni e costruzioni

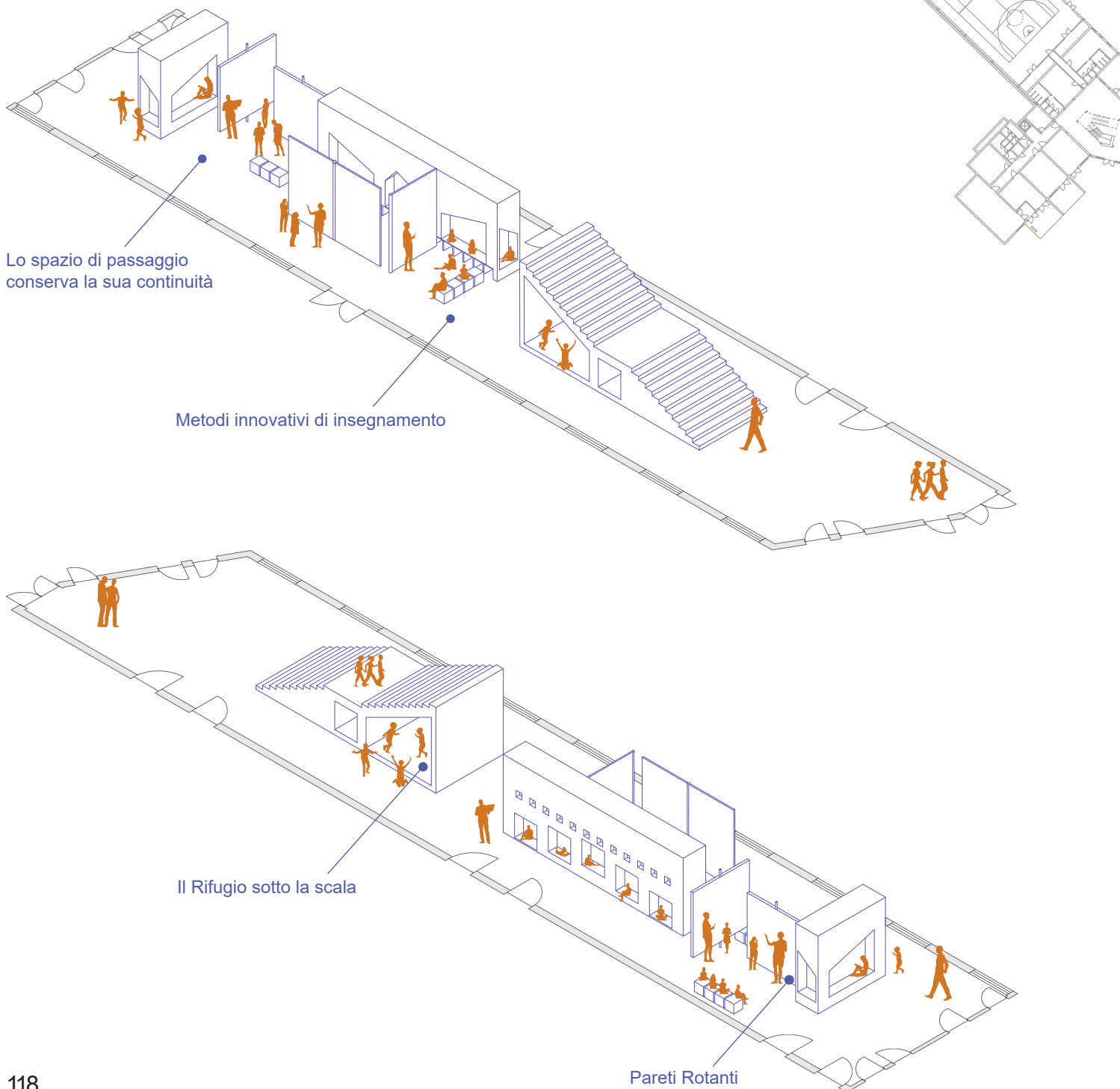
Nella planimetria di confronto della copertura l'attenzione si concentra soprattutto sull'area esterna, dove era già presente un parco verde adiacente alla zona di progetto. L'inserimento del nuovo corpo di fabbrica è stato studiato con grande attenzione per evitare interventi troppo invasivi e per preservare il più possibile le pavimentazioni esistenti. Nonostante ciò, una parte delle superfici esterne sono state rimosse per fare spazio alla nuova costruzione, ma contestualmente sono state introdotte nuove pavimentazioni che migliorano i collegamenti interni all'area di progetto e rendono più chiari i percorsi di accesso.

La stessa cura è stata riservata alla vegetazione. Gli alberi presenti nel parco sono stati quasi interamente mantenuti, intervenendo solo nei casi in cui la loro posizione risultava incompatibile con l'ingombro del nuovo edificio scolastico. L'obiettivo era quello di integrare la nuova costruzione nel contesto esistente senza alterarne l'identità paesaggistica, conservando il carattere naturale dell'area e garantendo continuità tra gli spazi verdi preesistenti e quelli di nuova realizzazione.



4.19 Corridoio didattico

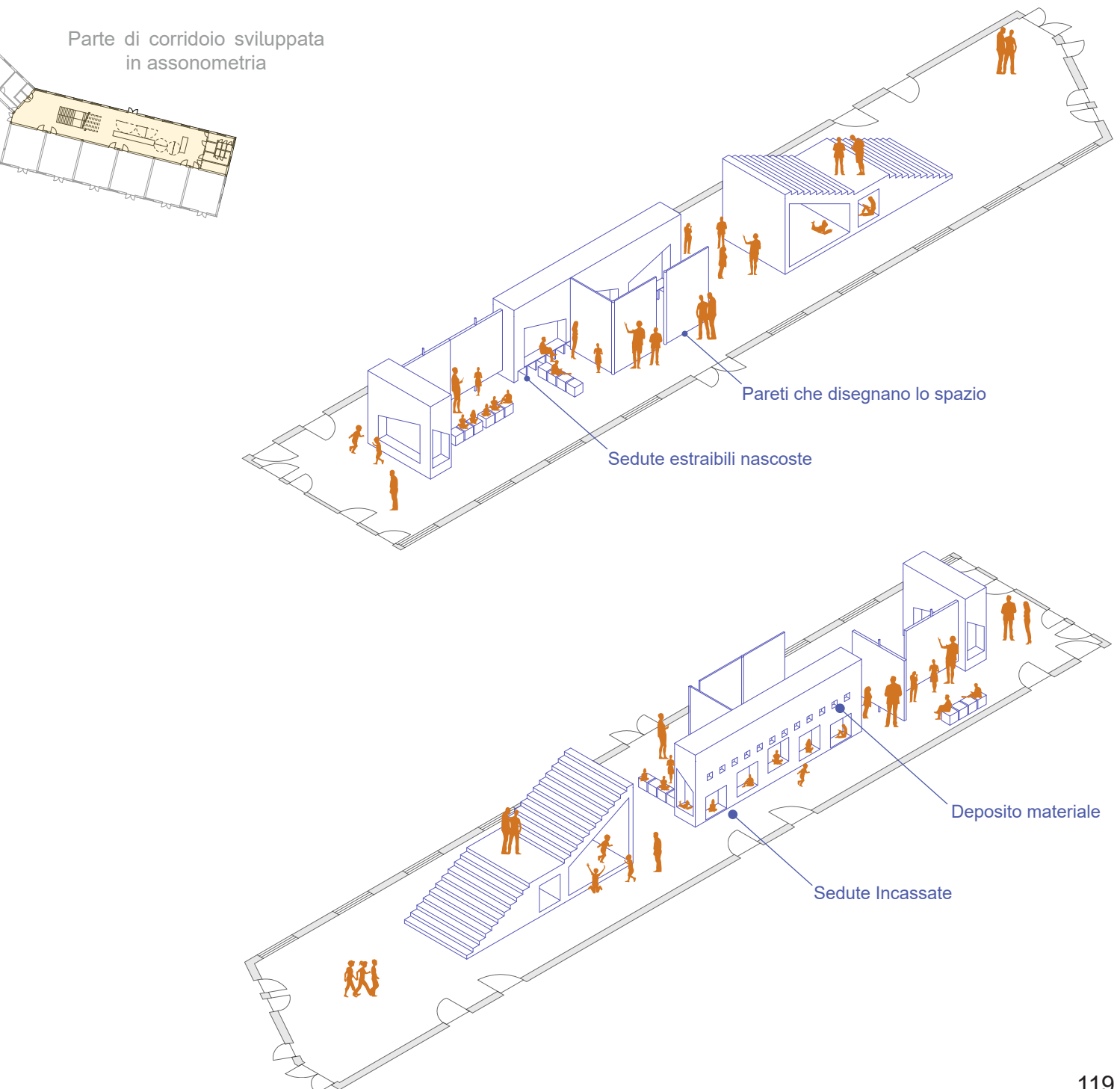
Nel progetto del corridoio si è scelto di non limitarsi a definire un semplice spazio di passaggio, ma di trasformarlo in una vera occasione architettonica capace di generare valore educativo. L'ambiente è stato concepito come un arredo continuo, multifunzionale e versatile, pensato per offrire costantemente diverse strategie e opportunità didattiche, oggi riconosciute come elementi fondamentali nella progettazione delle scuole contemporanee. L'obiettivo è quello di superare il modello tradizionale dell'aula chiusa, favorendo modalità di apprendimento più dinamiche, informali e piacevoli, in grado di rendere il tempo trascorso a scuola un'esperienza positiva e non una condizione imposta. In questa logica anche la scala, elemento di collegamento tra i due livelli, diventa parte integrante del progetto, le sue bucatu-



re interne si trasformano in nicchie abitabili, spazi in cui sedersi a leggere, giocare o semplicemente sostare, contribuendo a rendere il percorso un luogo vissuto e non un tratto neutro. Superata la scala, il corridoio si apre su un grande arredo lineare che integra al suo interno sedute di diverse dimensioni e una serie di vani destinati al deposito degli oggetti, offrendo così un supporto pratico e allo stesso tempo un'occasione di socialità.

A completare il sistema si inseriscono alcuni elementi mobili e rotanti, capaci di modificare rapidamente la configurazione dello spazio e di definire piccole aule temporanee con superfici variabili, adattandosi alle esigenze del momento e al numero di studenti coinvolti nelle attività.

Parte di corridoio sviluppata in assonometria



4.20 Un campo, molte possibilità

All'interno del progetto sono stati previsti due campi destinati alle attività sportive, uno interno alla palestra e uno all'aperto, utilizzabile nei periodi dell'anno che lo consentono. Entrambi sono stati concepiti non come superfici dedicate a un'unica disciplina, ma come spazi polifunzionali capaci di accogliere configurazioni di gioco diverse. L'obiettivo era quello di offrire un ambiente sportivo flessibile, adatto alle esigenze della scuola e in grado di sostenere attività differenti senza richiedere modifiche complesse.

La versatilità dei campi è garantita da un disegno articolato di linee che definiscono geometrie e dimensioni differenti, permettendo lo svolgimento di cinque sport: calcio, tennis, basket, pallavolo e pallapugno. La presenza di campiture cromatiche aiuta a distinguere rapidamente le diverse porzioni di campo, rendendo immediata la lettura delle dimensioni da seguire a seconda della disciplina praticata. Questa soluzione risulta particolarmente efficace per i bambini della scuola primaria, che possono orientarsi con facilità all'interno dello spazio.

Per le attività che richiedono attrezzature specifiche sono stati predisposti alloggiamenti integrati nel pavimento, mentre reti, pali e arredi necessari sono stati progettati come elementi mobili su ruote, facilmente montabili, smontabili e riponibili nel deposito della palestra. In questo modo lo spazio può essere liberato rapidamente e tornare disponibile per le attività motorie quotidiane, come percorsi ed esercizi liberi, che non necessitano di un campo definito.

Le dimensioni dei campi non rispettano gli standard federali e non sono quindi idonee a ospitare competizioni ufficiali, ma questa scelta è stata intenzionale. Adeguare gli spazi ai regolamenti avrebbe comportato un aumento significativo delle superfici necessarie, compromettendo l'obiettivo principale, realizzare una palestra calibrata sulle esigenze della scuola elementare e sulle attività motorie dei bambini.

Nonostante ciò, la presenza di più campi sovrapposti aumenta notevolmente la fruibilità dell'edificio anche al di fuori dell'orario scolastico. Negli ultimi anni, infatti, nel territorio di Ceva sono nate numerose associazioni sportive che faticano a trovare spazi adeguati per i propri allenamenti, e la nuova palestra risponde concretamente a questa esigenza. La possibilità di ospitare attività diverse la trasforma in una risorsa condivisa, capace di offrire un servizio reale alla comunità.

Il risultato è uno spazio sportivo flessibile e leggibile, in grado di adattarsi ai ritmi della scuola e alle necessità della cittadinanza, mantenendo un equilibrio tra funzionalità, sicurezza e qualità architettonica. La palestra diventa così un luogo aperto e versatile, pensato per accogliere attività differenti e per assumere un ruolo significativo nella vita quotidiana della scuola e del territorio.

05_Campo da pallapugno



04_Campo da basket



03_Campo da pallavolo



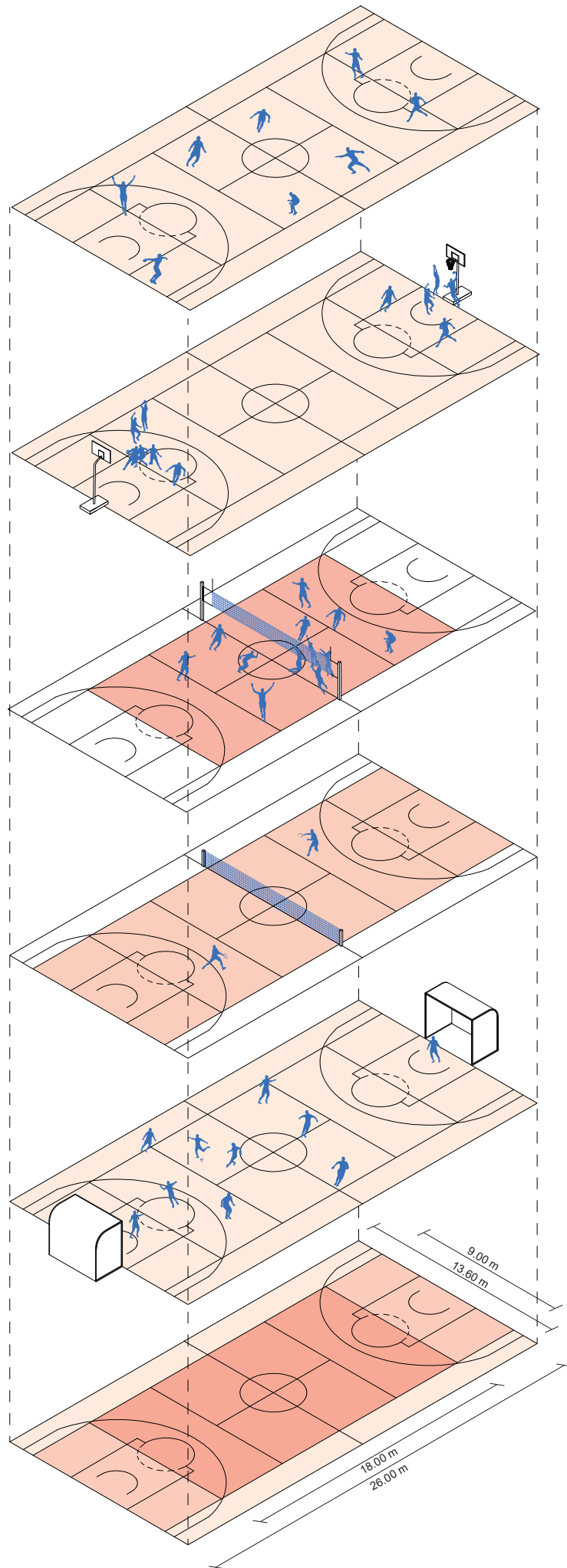
02_Campo da tennis



01_Campo da calcio a 5



00_Base del campo



4.21 Facciata esterna

La definizione della facciata nasce dall'incontro tra esigenze funzionali, qualità ambientali e una riflessione critica sulla tradizione dell'edilizia scolastica. La scelta di adottare un sistema di aperture numerose e regolarmente distribuite risponde innanzitutto alla necessità di garantire un'elevata quantità di luce naturale negli ambienti didattici, condizione fondamentale per il benessere visivo e per la riduzione dell'illuminazione artificiale. La ripetizione modulare delle bucatore assicura una diffusione omogenea della luce, evitando fenomeni di abbagliamento e permettendo un controllo più efficace dell'irraggiamento diretto.

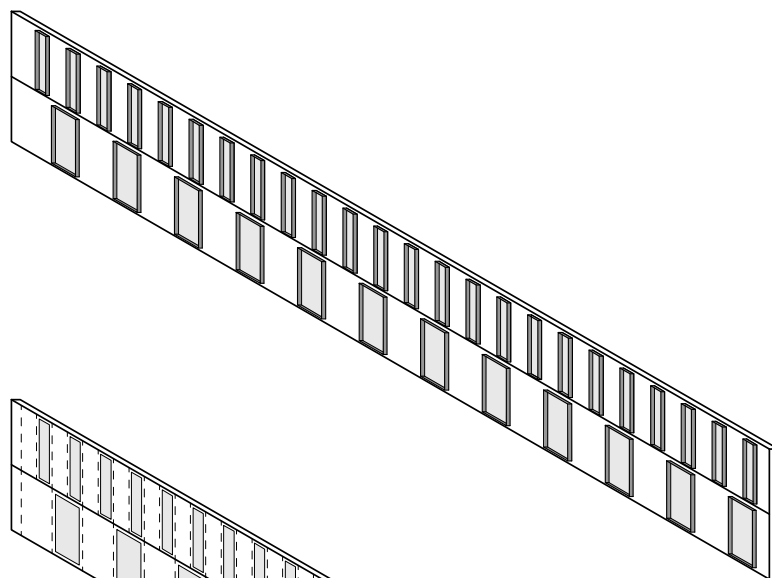
Questa regolarità compositiva richiama volutamente la "rigidità" tipica delle architetture scolastiche storiche, dove la facciata esprimeva ordine, chiarezza e ripetizione come metafora dell'istituzione educativa. Nel progetto, tale rigore viene reinterpretato in chiave contemporanea: il ritmo rimane leggibile, ma viene alleggerito attraverso lievi sfalsamenti e variazioni che attenuano la severità originaria, rendendo l'edificio più accogliente e vicino alla sensibilità pedagogica attuale.

L'impiego del legno lamellare come struttura portante consente di spingere ulteriormente questa ricerca di leggerezza. La capacità del materiale di sostenere pareti fortemente traforate permette di moltiplicare le aperture senza compromettere la stabilità, trasformando la facciata in un piano quasi "smaterializzato", un foglio permeabile alla luce e al paesaggio. La trama delle bucatore diventa così un dispositivo espressivo che valorizza le potenzialità del legno e comunica un'immagine di trasparenza e apertura.

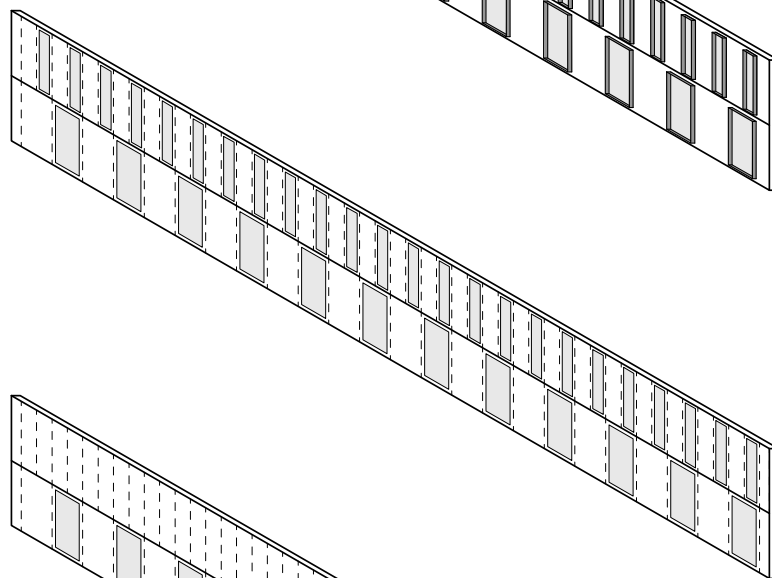
A completamento del sistema, l'introduzione di elementi aggettanti della stessa dimensione degli infissi esterni amplifica la profondità della facciata e ne accentua la vibrazione luminosa. Questi volumi, calibrati per aumentare l'oggetto, svolgono una duplice funzione: da un lato migliorano il comfort visivo schermando la luce diretta nelle ore più critiche, dall'altro rafforzano la percezione dinamica della facciata, che si arricchisce di ombre, spessori e variazioni materiche.

L'insieme di questi elementi genera un fronte che unisce memoria tipologica e innovazione tecnica, rigore e leggerezza, funzionalità e qualità percettiva. La facciata diventa così un dispositivo ambientale e pedagogico, capace di esprimere l'identità della scuola contemporanea: un luogo aperto, luminoso, sostenibile e in dialogo con il contesto.

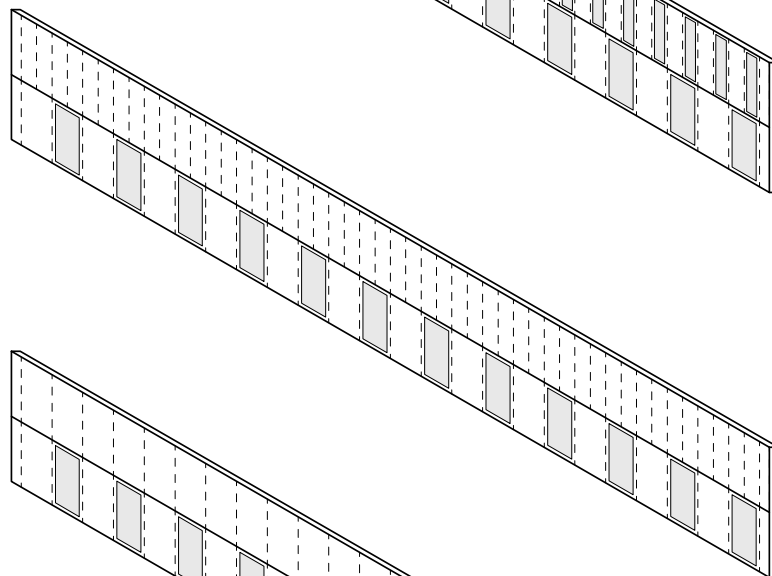
5_Inserimento di elementi aggettanti per schermare la luce solare diretta



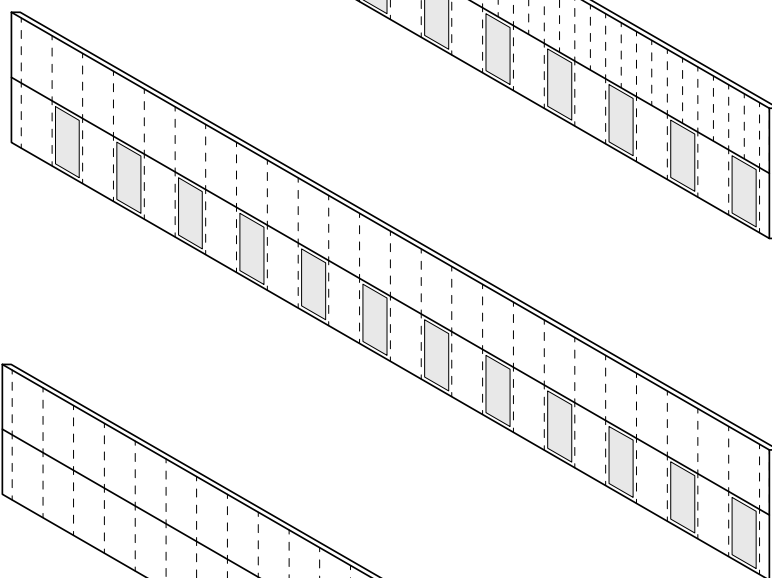
4_Posizionamento delle finestre del primo piano



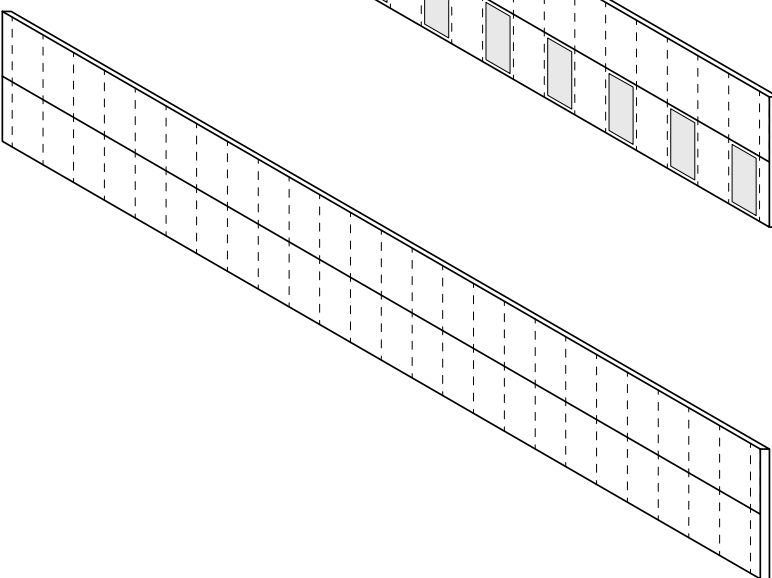
3_Ulteriore suddivisione dello spazio disponibile per il posizionamento delle finestre del piano primo, al fine di incrementare il movimento della facciata ed evitare un'eccessiva rigidità compositiva



2_Posizionamento degli infissi al piano terreno per massimizzare l'apporto di luce naturale e garantire elementi apribili utilizzabili come uscite di emergenza



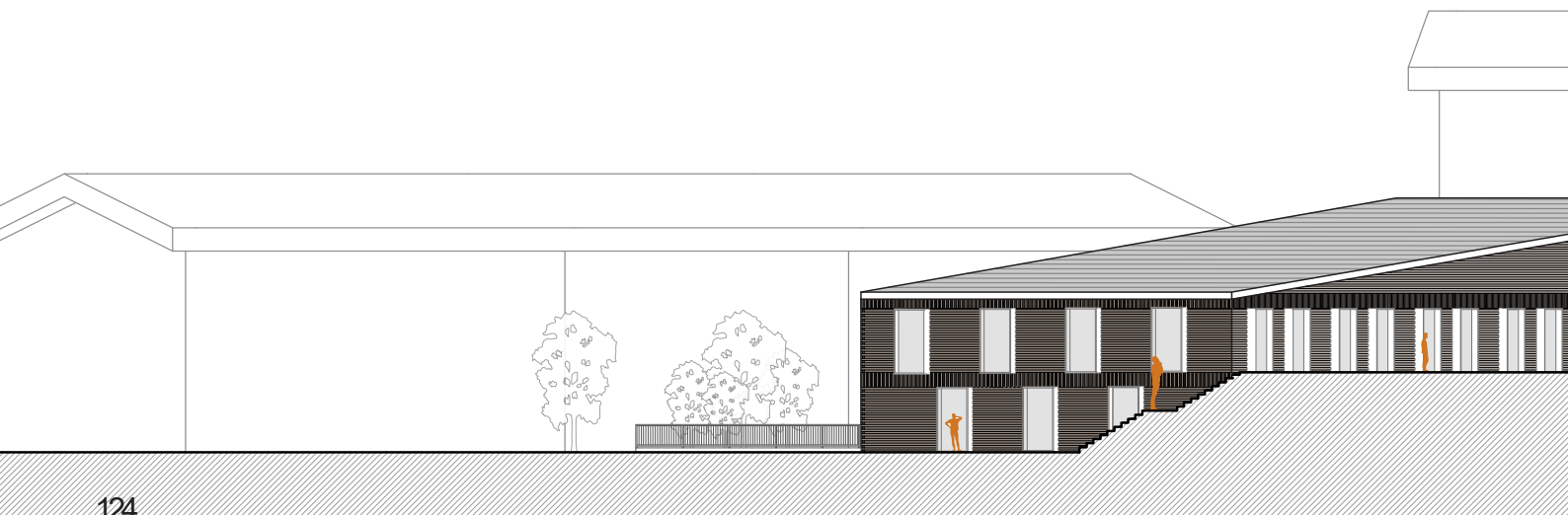
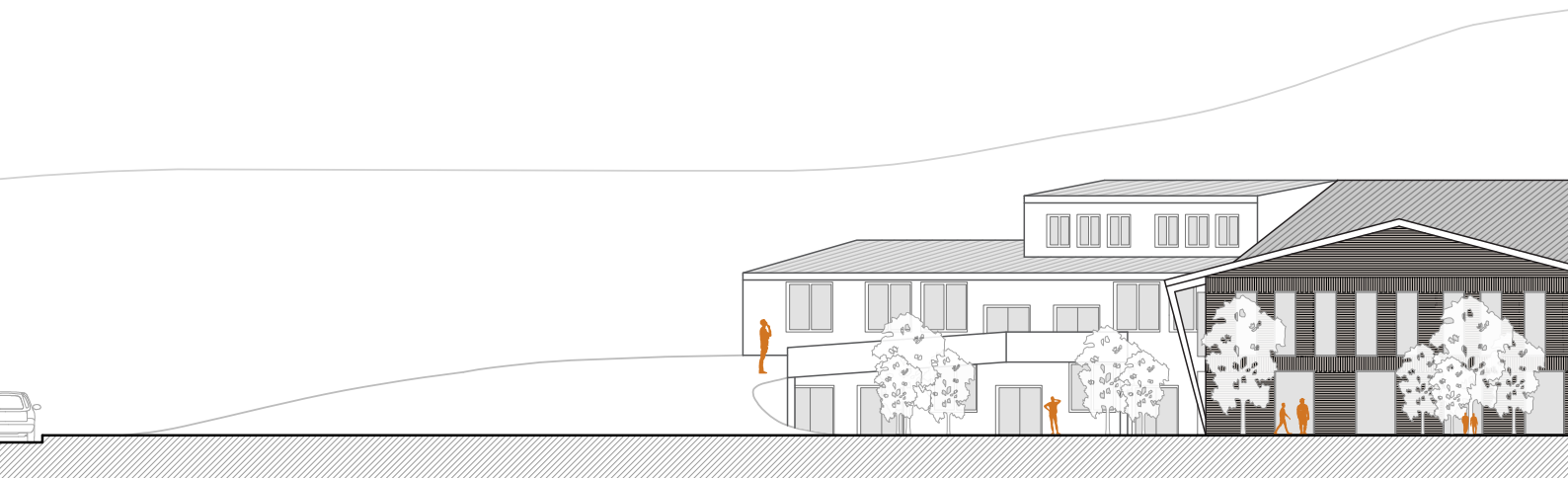
1_Tracciamento delle possibili posizioni degli infissi in relazione alla struttura sottostante

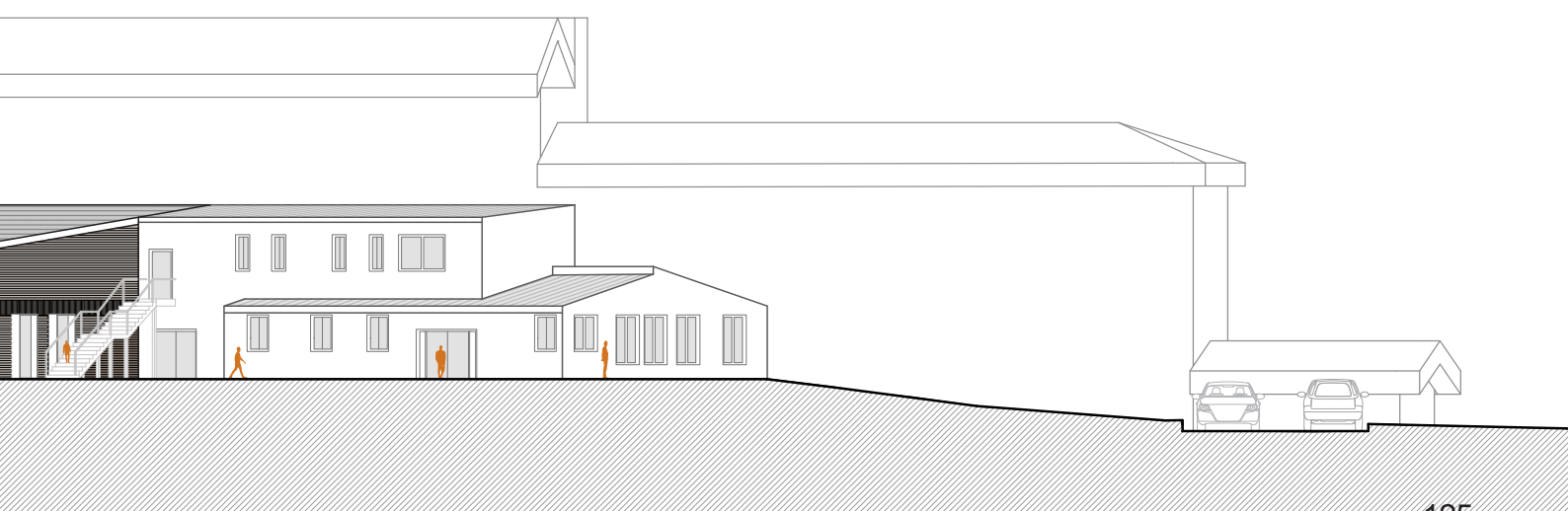
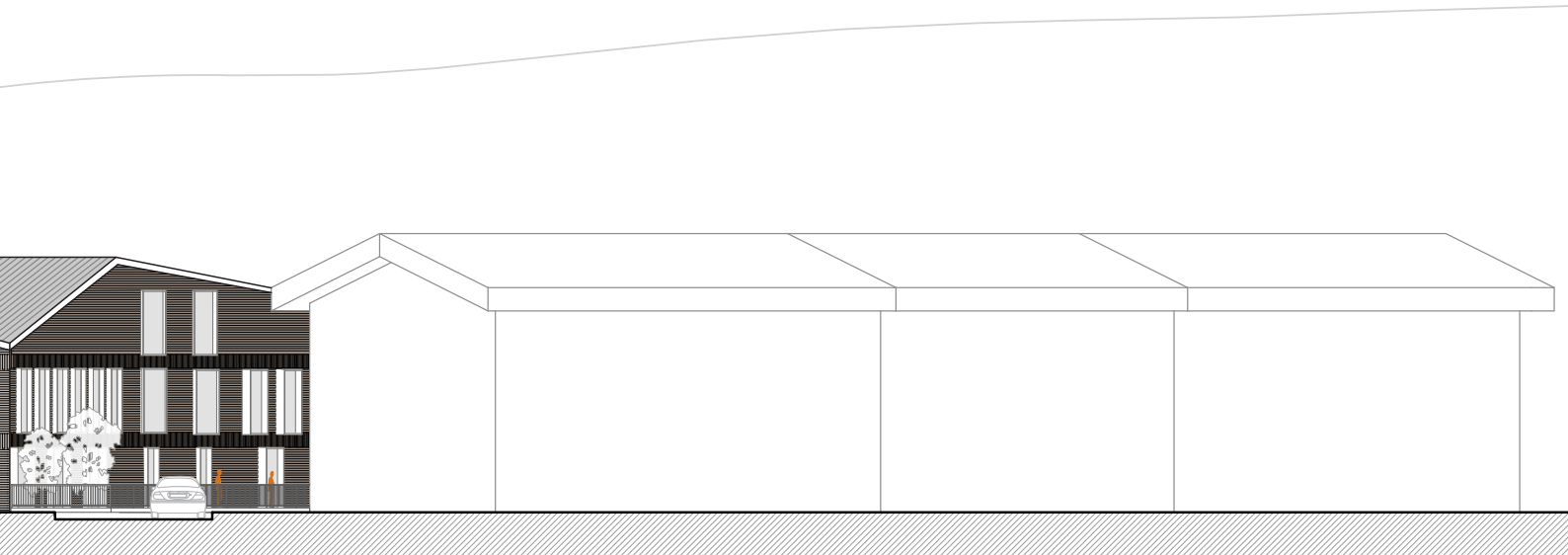
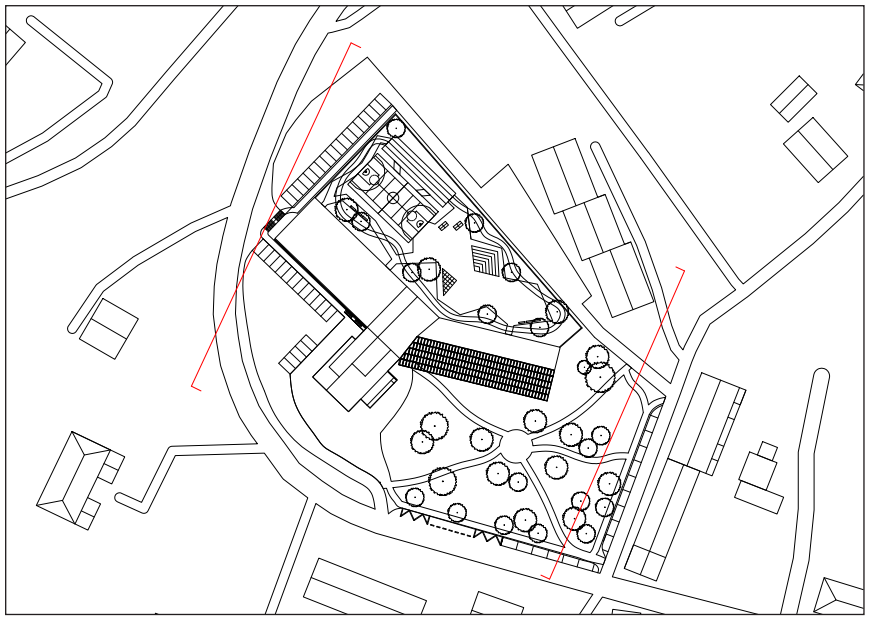


4.22 Prospetti esterni

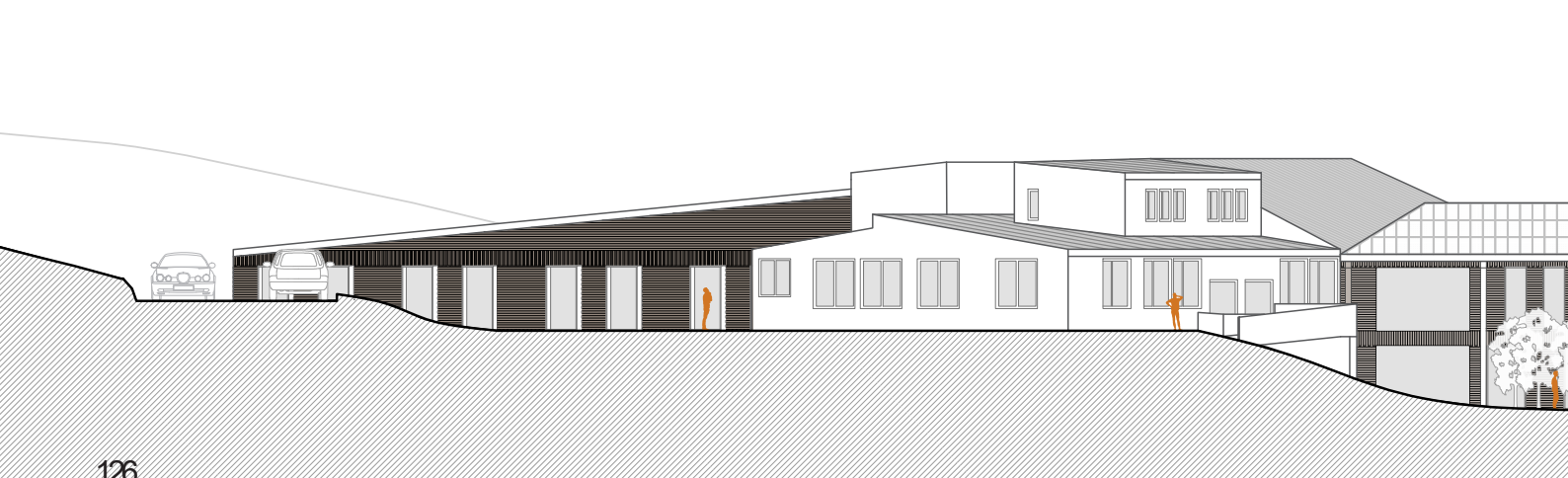
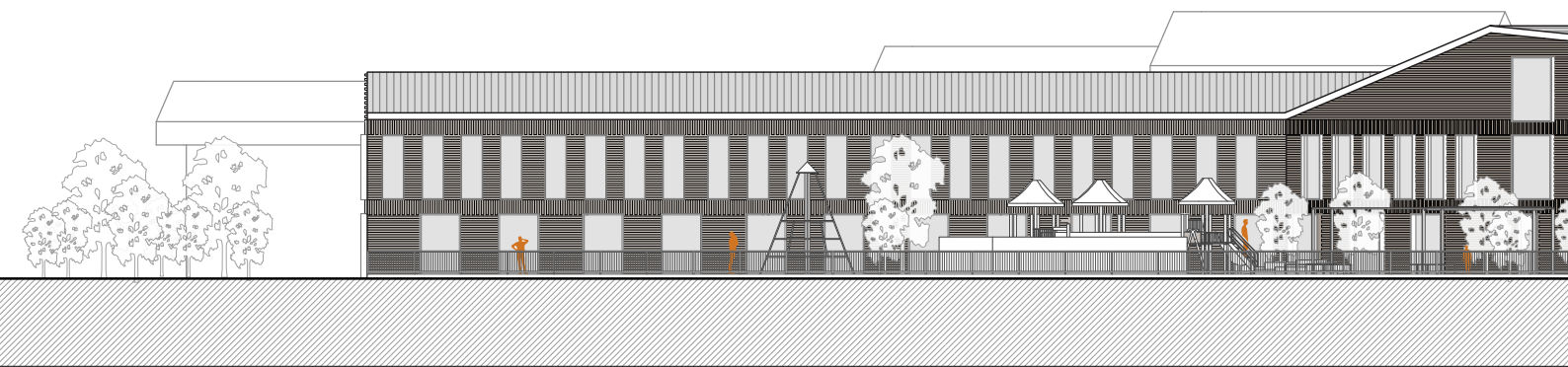
All'interno dei prospetti emerge con chiarezza la continuità con quanto descritto in precedenza: le aperture diventano l'elemento visivo primario e si integrano con il ritmo della listellatura esterna, amplificando l'effetto percettivo della facciata. Questa relazione compositiva, unita al posizionamento della scuola all'interno di un parco urbano, rafforza il dialogo diretto tra edificio e contesto, rendendo l'interazione con il paesaggio circostante immediata e naturale.

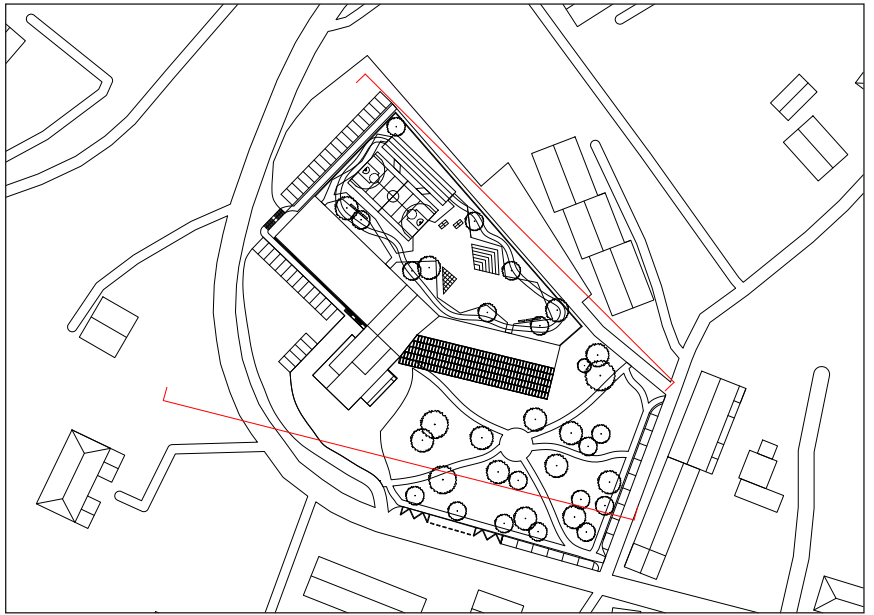
Dai prospetti si percepisce come l'edificio si articoli su più livelli, adattandosi al profilo altimetrico della collina retrostante e sfruttandone l'andamento per definire una volumetria dinamica. È evidente anche come la scuola, pur essendo circondata dalla viabilità, rimanga inserita in una zona pedonale protetta, priva di





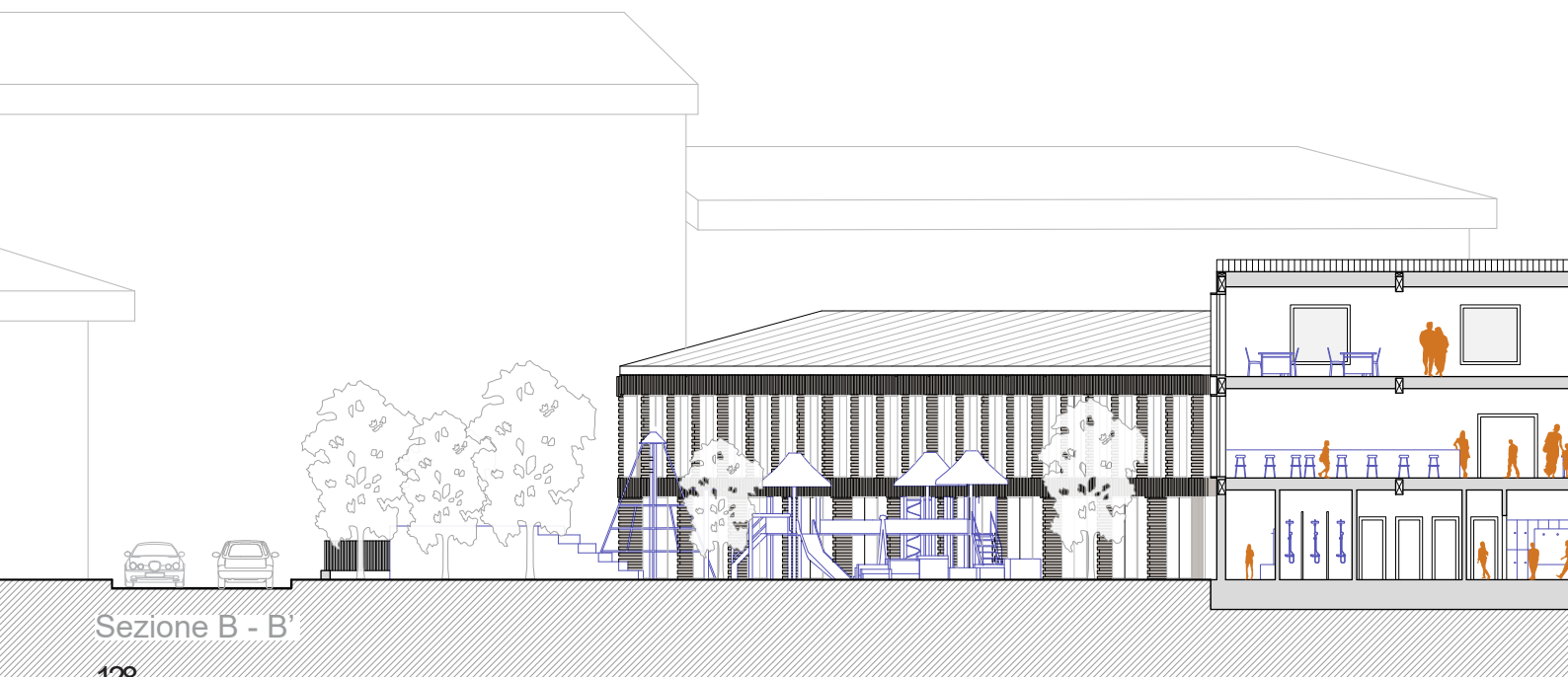
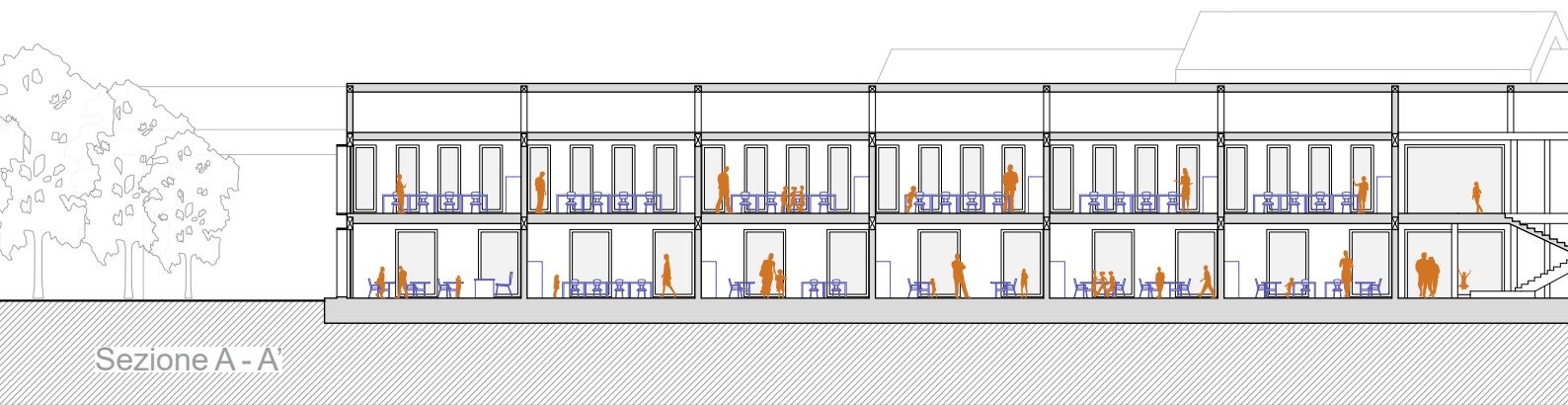
traffico veicolare, che consente di vivere pienamente lo spazio verde esterno e di apprezzarne forme, percorsi e aperture visuali. Le finestrate, nella loro conformazione, cercano di integrarsi con l'edificio esistente; tuttavia, numerose aperture originarie sono state ripensate per migliorare la continuità compositiva e rafforzare la relazione tra i diversi fronti. Il passo delle finestre rimane in gran parte invariato, ad eccezione della porzione della palestra, dove le aperture aumentano di dimensione e modificano il loro ritmo per sottolineare la differenza funzionale tra la scuola primaria e i servizi annessi, rendendo leggibile questa distinzione anche dall'esterno, senza necessità di accedere all'edificio.

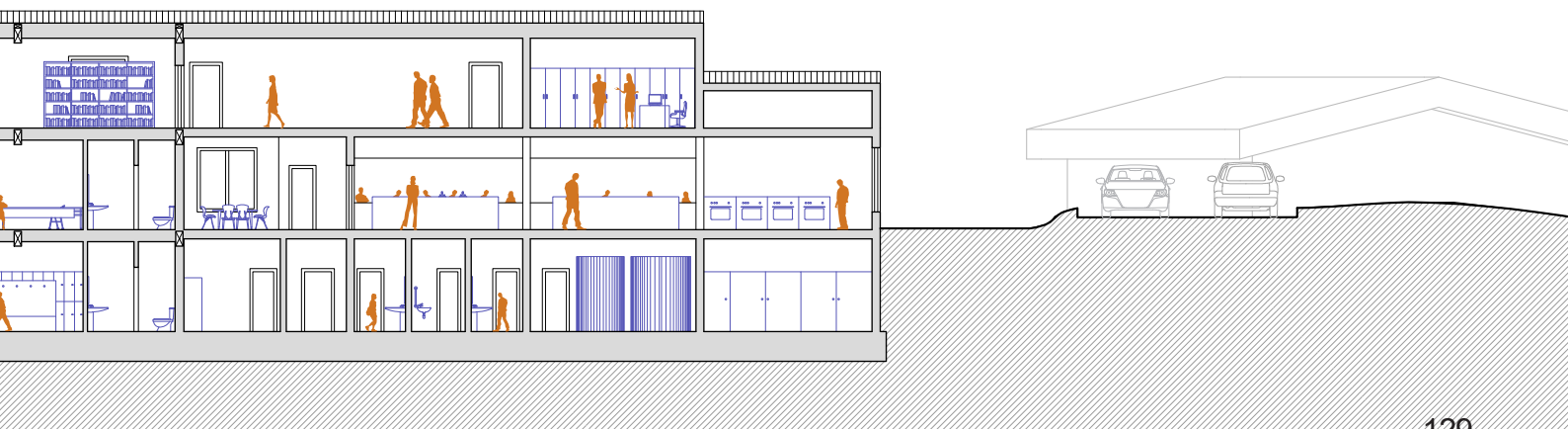
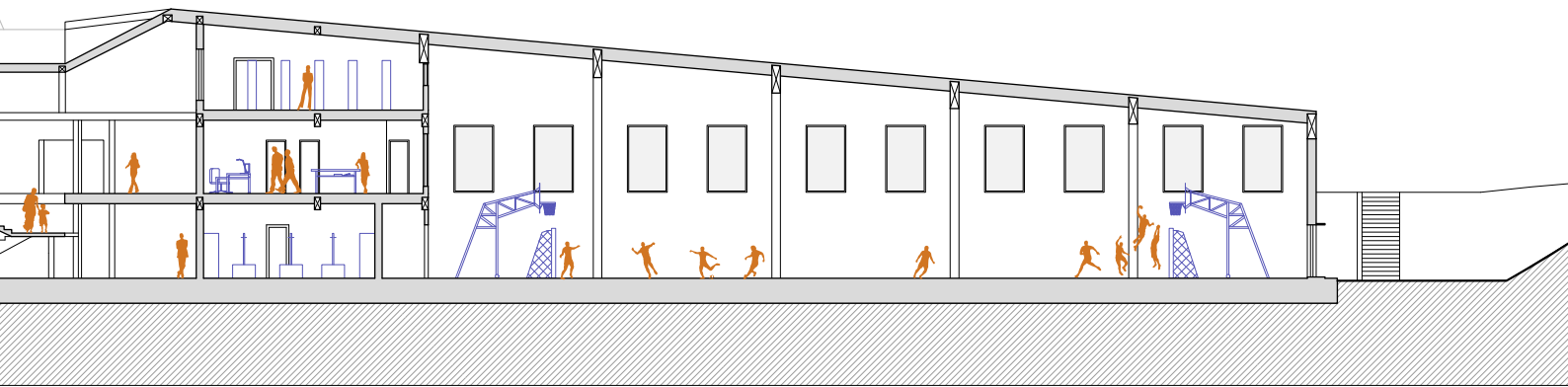
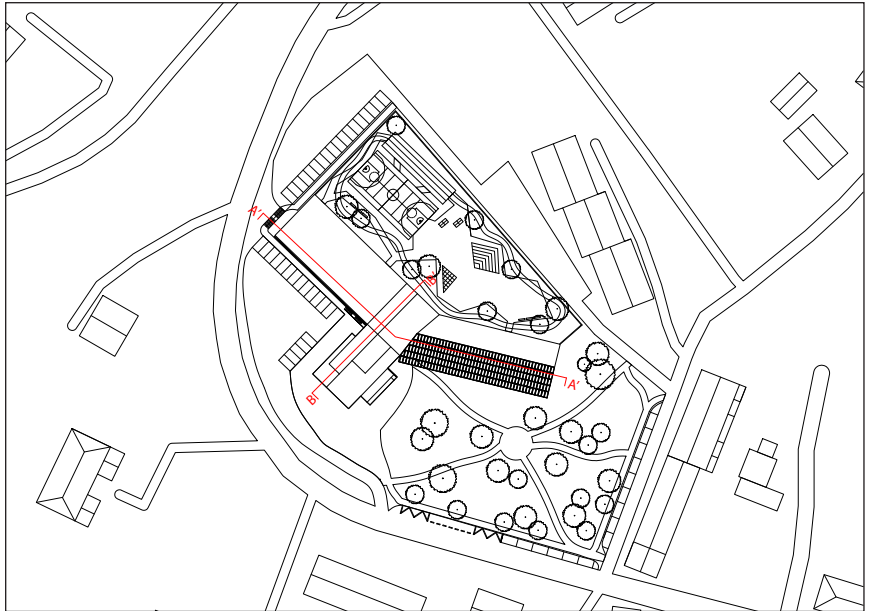




4.23 Sezioni

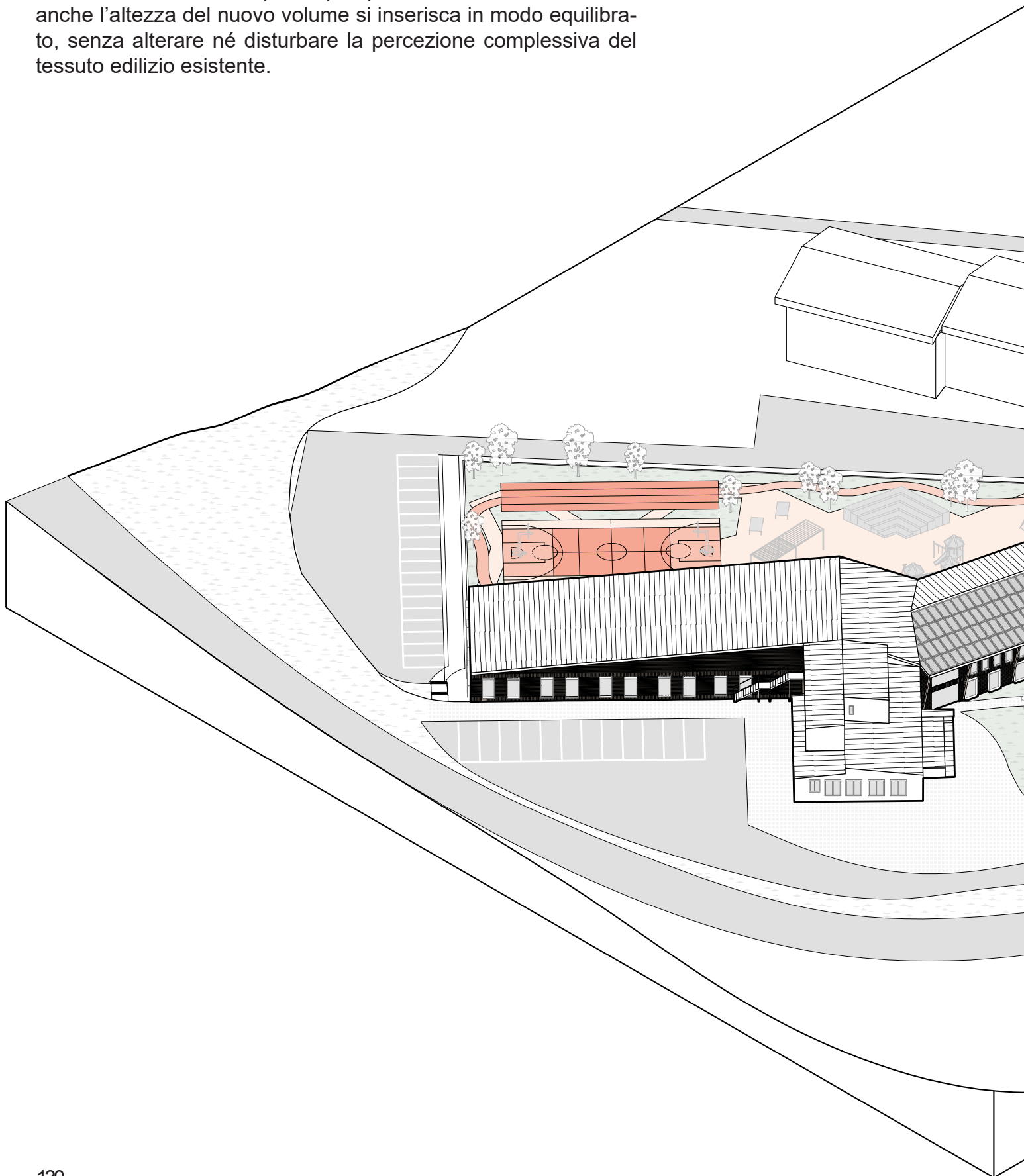
Nelle sezioni si osserva come l'altezza del nuovo corpo scolastico e dei servizi annessi si attesti sulla stessa quota del fabbricato originale. Questa scelta risulta fondamentale per evitare la creazione di barriere architettoniche che renderebbero più complesso l'accesso e la fruizione degli spazi da parte delle persone con disabilità, garantendo invece una continuità altimetrica pienamente inclusiva. La sezione mette inoltre in evidenza come la copertura della palestra raggiunga la quota massima della falda dell'edificio esistente per poi inclinarsi con andamento costante fino a raccordarsi con la quota di gronda del nuovo tetto della scuola. Tale soluzione è stata adottata per massimizzare la continuità formale con il fabbricato originario, evitando stacchi volumetrici troppo marcati e rafforzando la percezione di un insieme coerente. È ben leggibile anche il ruolo del foyer centrale, che coincide con l'ingresso principale e costituisce il nodo distributivo dell'intero complesso. Da questo spazio si articolano i collegamenti verso i diversi blocchi funzionali e verso tutti i livelli dell'edificio, rendendo immediata la comprensione dei percorsi e favorendo una circolazione interna chiara e intuitiva.

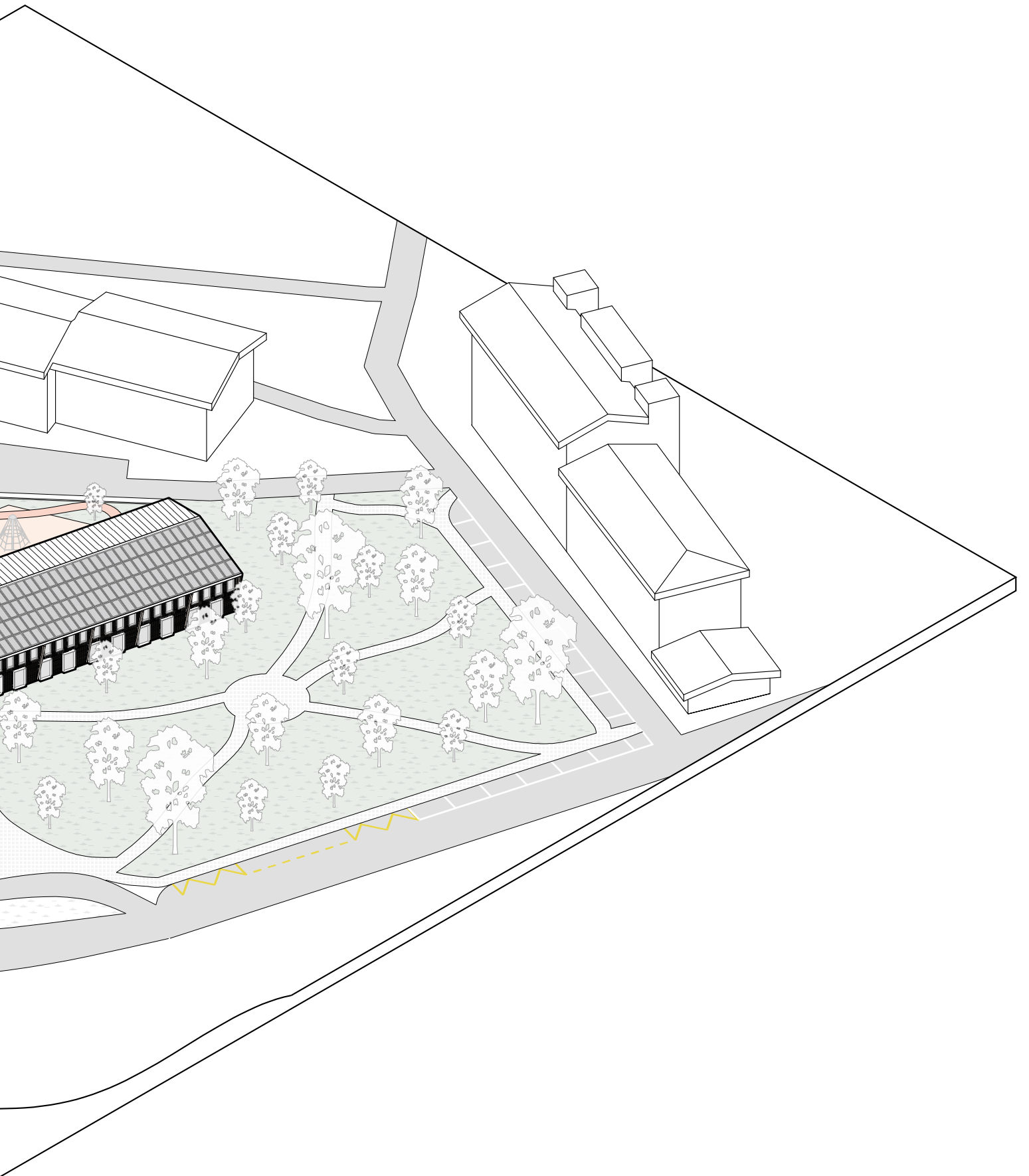




4.24 Assonometria generale

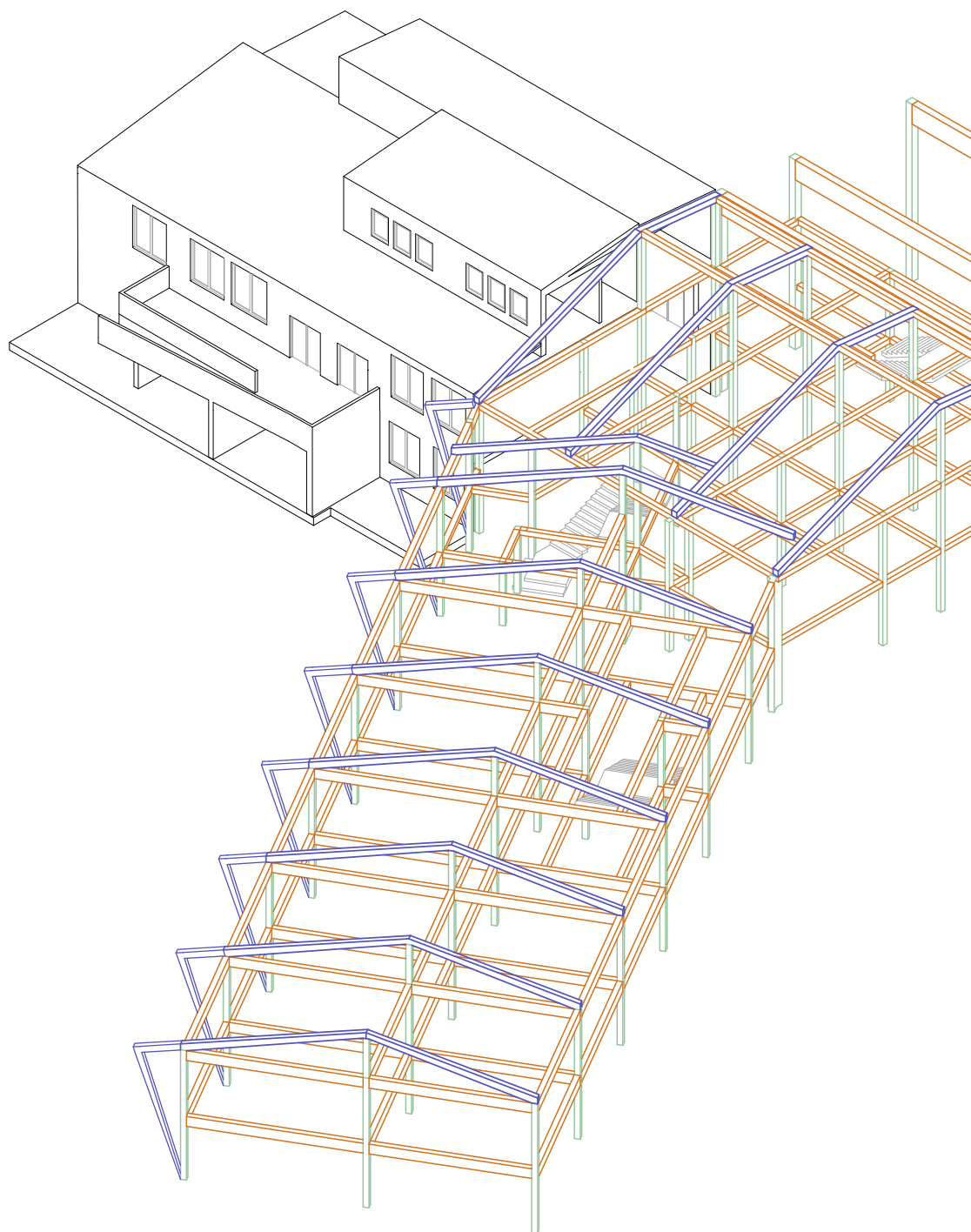
Per concludere la parte dedicata all'analisi architettonica, viene presentata una vista assonometrica generale del progetto, che permette di leggere con immediatezza i collegamenti tra le diverse quote altimetriche e la relazione fisica tra l'edificio e il contesto urbano circostante. Da questa prospettiva risulta evidente come anche l'altezza del nuovo volume si inserisca in modo equilibrato, senza alterare né disturbare la percezione complessiva del tessuto edilizio esistente.



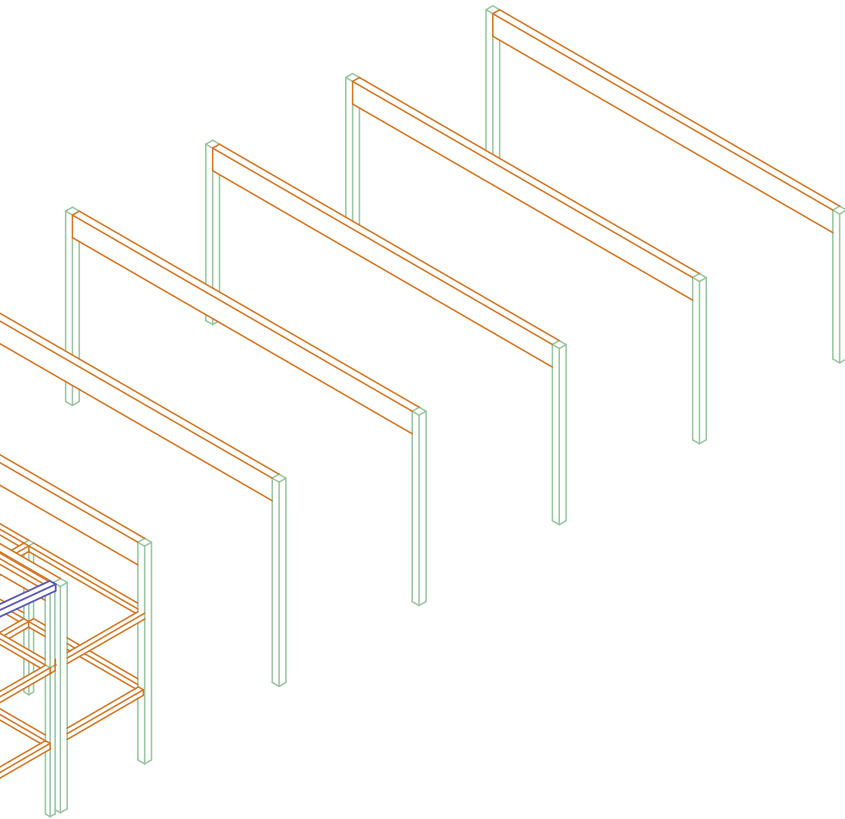


5.1 Struttura generale

La struttura della parte aggiunta è interamente realizzata in legno lamellare, una scelta che consente di ridurre al minimo le emissioni legate alla produzione dei materiali e, al tempo stesso, di coprire le grandi luci richieste soprattutto nella zona della palestra. Gli elementi in lamellare si connettono tramite incastri e giunti metallici, definendo uno scheletro strutturale unitario e leggibile, capace di garantire stabilità e coerenza formale all'intero ampliamento.



Nel disegno strutturale, l'uso di diverse colorazioni permette di distinguere con immediatezza i vari elementi portanti, evidenziandone la funzione e facilitando la comprensione del sistema costruttivo. Questa scelta grafica rende chiaro il ruolo di ogni componente e contribuisce a restituire una visione complessiva ordinata e intuitiva dell'organizzazione strutturale dell'edificio.



Dimensionamento elementi strutturali

Elementi della scuola

- maglia strutturale 7 x 8 metri
- pilastri 25 x 25 centimetri
- travi principali 25 x 50 centimetri
- travi secondarie 8 x 14 centimetri
- passo travi secondarie ogni metro

Elementi della palestra

- maglia strutturale 7 x 17 metri
- pilastri 35 x 35 centimetri
- travi principali 35 x 100 centimetri

Tutti gli elementi portanti sono in legno lamellare

Scala 1:300

5.2 Analisi delle chiusure verticali opache

Come già avvenuto nella prima fase progettuale, anche per le pareti esterne di chiusura si è scelto di analizzare diverse soluzioni possibili prima di definire quella più adatta. Questo approccio consente di ampliare il ventaglio delle alternative, valutare materiali differenti e non ricadere immediatamente su un'unica opzione. In particolare, sono state considerate tre stratigrafie con caratteristiche tra loro eterogenee, così da ottenere un quadro comparativo completo e poter individuare in seguito la soluzione più performante.

Le tre pareti selezionate comprendono due sistemi in legno e una parete in laterizio forato. Le prime due si distinguono per la diversa tecnologia costruttiva: la prima utilizza un pannello in CLT che svolge la funzione di massa principale della chiusura, mentre la seconda adotta un sistema a telaio leggero in legno, più tradizionale, articolato su più strati. La terza soluzione, invece, è costituita da blocchi in laterizio forati, così da introdurre un materiale completamente differente e verificare quale direzione progettuale risulti effettivamente più vantaggiosa.

È importante ricordare che le pareti esterne non hanno funzione portante, ma esclusivamente di chiusura. Per questo motivo, tutti gli strati non caratterizzanti sono stati mantenuti identici nelle tre stratigrafie, evitando che le differenze prestazionali derivassero unicamente dalla tipologia di isolante o da elementi accessori. Le variazioni riguardano quindi i materiali strutturali principali, così da rendere il confronto più significativo.

Gli spessori complessivi delle tre pareti risultano differenti, poiché sono stati definiti in modo da ottenere la medesima trasmittanza termica e non uno spessore uniforme. Tutte le soluzioni si attestano attorno a un valore di circa $0,16 \text{ W/m}^2\text{K}$, ampiamente conforme ai limiti normativi vigenti per la zona climatica E, pari a $0,26 \text{ W/m}^2\text{K}$. Questa scelta permette di confrontare le pareti su basi equivalenti, concentrandosi sulle prestazioni dinamiche, sui comportamenti emissivi e sugli aspetti ambientali.

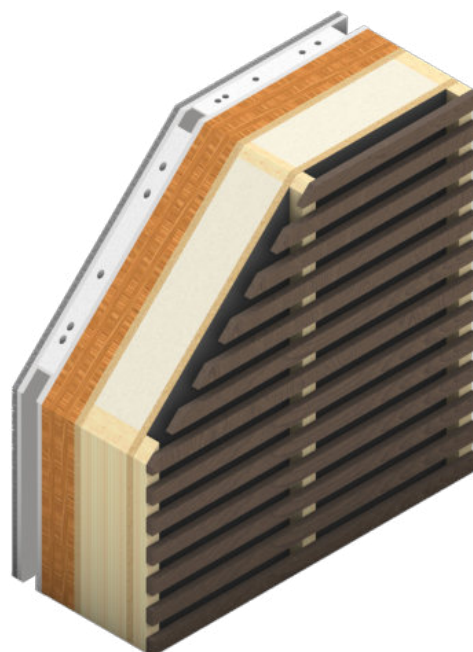
Tutte le stratigrafie prevedono inoltre, sul lato interno, una controparete in cartongesso montata su struttura metallica e riempita con lana di roccia. Questo strato contribuisce a migliorare la resistenza al fuoco degli elementi lignei e consente il passaggio ordinato delle utenze necessarie all'interno delle aule, come cavi elettrici e impianti di servizio.

In questa prima pagina viene presentato un confronto visivo e descrittivo delle tre pareti, mentre nelle sezioni successive l'analisi si concentrerà sui parametri termici, sulla trasmittanza dinamica e, infine, sull'impatto emissivo legato alla produzione dei materiali, così da definire in modo motivato la soluzione più adeguata al progetto.

Parete a telaio massiccio in CLT

Stratigrafia da interno ad esterno:

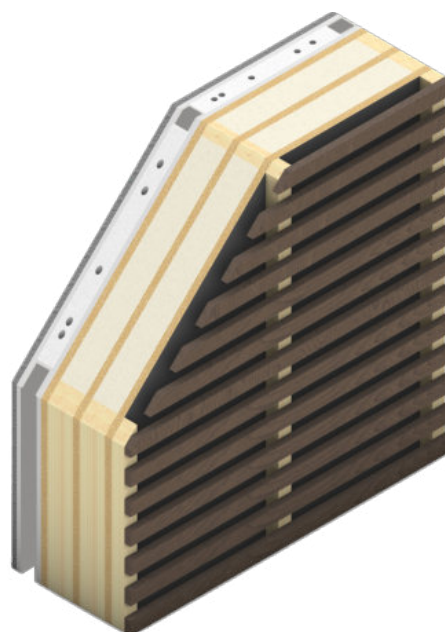
- Intonaco da 1.5 cm - λ : 0.70 W/mK
 - Lastra di cartongesso da 1.25 cm - λ : 0.25 W/mK
 - Struttura metallica con impianti ed isolante in lana di roccia da 5 cm - λ : 0.037 W/mK
 - Lastra di cartongesso da 1.25 cm - λ : 0.25 W/mK
 - Freno al vapore da 0.2 mm
 - Pannello in CLT da 10 cm - λ : 0.13 W/mK
 - Pannello in OSB da 2 cm - λ : 0.13 W/mK
 - Listellatura con isolante in fibra di legno da 14 cm - λ : 0.038 W/mK
 - Pannello in OSB da 2 cm - λ : 0.13 W/mK
 - Membrana impermeabile da 0.4 mm
 - Listellatura ventilazione da 4 cm
 - Rivestimento esterno da 2 cm
- Totale: 43 cm



Parete a telaio leggero in legno

Stratigrafia da interno ad esterno:

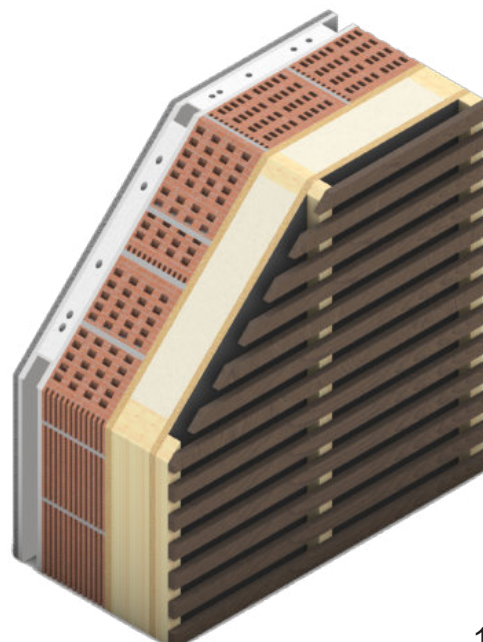
- Intonaco da 1.5 cm - λ : 0.70 W/mK
 - Lastra di cartongesso da 1.25 cm - λ : 0.25 W/mK
 - Struttura metallica con impianti ed isolante in lana di roccia da 5 cm - λ : 0.037 W/mK
 - Lastra di cartongesso da 1.25 cm - λ : 0.25 W/mK
 - Freno al vapore da 0.2 mm
 - Pannello in OSB da 2 cm - λ : 0.13 W/mK
 - Listellatura con isolante in fibra di legno da 8 cm - λ : 0.038 W/mK
 - Pannello in OSB da 2 cm - λ : 0.13 W/mK
 - Listellatura con isolante in fibra di legno da 8 cm - λ : 0.038 W/mK
 - Pannello in OSB da 2 cm - λ : 0.13 W/mK
 - Membrana impermeabile da 0.4 mm
 - Listellatura ventilazione da 4 cm
 - Rivestimento esterno da 2 cm
- Totale: 37 cm



Parete di tamponamento in laterizio forato

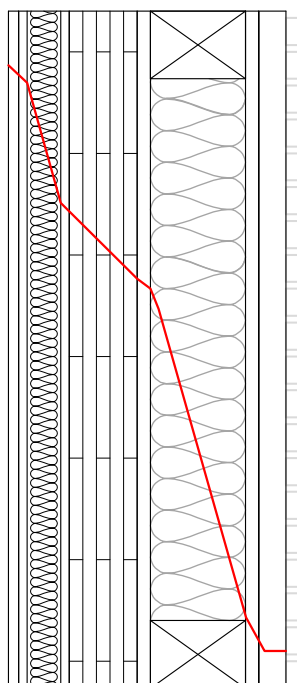
Stratigrafia da interno ad esterno:

- Intonaco da 1.5 cm - λ : 0.70 W/mK
 - Lastra di cartongesso da 1.25 cm - λ : 0.25 W/mK
 - Struttura metallica con impianti ed isolante in lana di roccia da 5 cm - λ : 0.037 W/mK
 - Lastra di cartongesso da 1.25 cm - λ : 0.25 W/mK
 - Freno al vapore da 0.2 mm
 - Laterizio forato da 20 cm - λ : 0.33 W/mK
 - Pannello in OSB da 2 cm - λ : 0.13 W/mK
 - Listellatura con isolante in fibra di legno da 12 cm - λ : 0.038 W/mK
 - Pannello in OSB da 2 cm - λ : 0.13 W/mK
 - Membrana impermeabile da 0.4 mm
 - Listellatura ventilazione da 4 cm
 - Rivestimento esterno da 2 cm
- Totale: 51 cm



Ora che sono state definite le stratigrafie prese in esame, è possibile analizzarne il comportamento e le prestazioni, valutando come ciascuna parete reagisce ai flussi termici e quali caratteristiche riesce a raggiungere nella configurazione proposta. In questa sezione vengono messi a confronto diversi parametri legati alla trasmissione del calore all'interno della parete e al modo in cui esso si propaga attraverso i vari strati della stratigrafia. Come anticipato nella parte precedente, la trasmittanza termica stazionaria è stata utilizzata come valore di riferimento per uniformare le tre soluzioni. La trasmittanza U permette infatti di valutare la capacità della parete di limitare le dispersioni di calore in condizioni invernali, quando il flusso termico è pressoché costante e l'obiettivo è ridurre le perdite verso l'esterno. Tuttavia, questo parametro non è sufficiente per descrivere il comportamento estivo, poiché non tiene conto della variabilità dell'irraggiamento solare e dell'andamento dinamico del calore durante la giornata. Per questo motivo sono stati analizzati anche i parametri dinamici, fondamentali per valutare il comfort estivo. La trasmittanza termica periodica (YIE) indica quanta parte dell'onda termica giornaliera riesce effettivamente ad attraversare la parete, più il valore è basso, più la parete è in grado di filtrare e attenuare il calore proveniente dall'esterno. Lo sfasamento termico misura invece il tempo che intercorre tra il picco di temperatura esterna e quello interno: un valore elevato permette di far arrivare il calore nelle ore serali o notturne, quando può essere smaltito più facilmente. Infine, il fattore di attenuazione esprime la capacità della parete di ridurre l'intensità dell'onda termica, smorzandone l'effetto, valori bassi indicano una buona capacità di contenere il carico termico estivo. L'analisi congiunta di questi tre parametri consente quindi di comprendere non solo quanta energia attraversa la parete, ma anche quando e con quale intensità, offrendo una valutazione completa del comportamento estivo. Sotto questi aspetti, le tre pareti presentano prestazioni complessivamente simili e tutte adeguate a garantire un buon livello di comfort. I valori sono stati ottenuti tramite il software Termus-Glaser, che, una volta impostati correttamente i materiali e le stratigrafie, ha restituito i dati riportati nella pagina accanto. Dall'analisi si osserva come le due pareti in legno mostrino un comportamento molto vicino tra loro, mentre la parete in laterizio evidenzia una differenza significativa nell'andamento termico interno: la curva, rappresentata in rosso, decresce più lentamente nella zona del laterizio principale, segno della maggiore massa e della diversa capacità di accumulo termico rispetto alle soluzioni in legno. Infine, per completare il confronto tra le tre stratigrafie, è stata valutata anche la quantità di CO₂ associata alla fase di produzione dei materiali, riprendendo lo stesso metodo utilizzato nella prima parte della tesi. Questo passaggio è stato fondamentale per individuare quale delle soluzioni risultasse meno impattante dal punto di vista ambientale, integrando così la valutazione prestazionale con una riflessione sul ciclo di vita dei materiali.

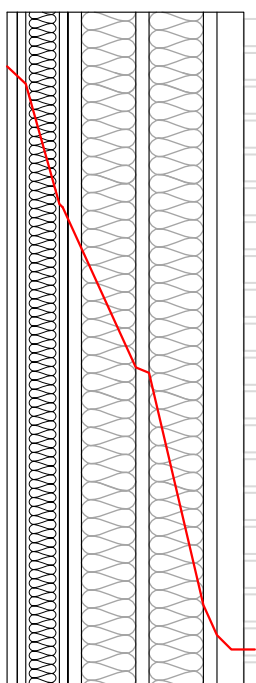
Con la linea di colore rosso è stato tracciato in tutte e tre le pareti l'andamento termico al loro interno



1. Intonaco - $R_1: 0.015/0.70 = 0.021 \text{ m}^2\text{K/W}$
2. Lastra cartongesso - $R_2: 0.025/0.25 = 0.10 \text{ m}^2\text{K/W}$
3. Isolante in lana di roccia - $R_3: 0.05/0.037 = 1.35 \text{ m}^2\text{K/W}$
4. Pannello in CLT - $R_4: 0.1/0.13 = 0.77 \text{ m}^2\text{K/W}$
5. Isolante in fibra di legno - $R_5: 0.14/0.038 = 3.68 \text{ m}^2\text{K/W}$
6. Pannello in OSB - $R_6: 0.04/0.13 = 0.307 \text{ m}^2\text{K/W}$

$R_{tot}: 0.021 + 0.10 + 1.35 + 0.77 + 3.68 + 0.307 = 6.223 \text{ m}^2\text{K/W}$
 $U: 1/6.223 = \mathbf{0.161 \text{ W/m}^2\text{K}}$

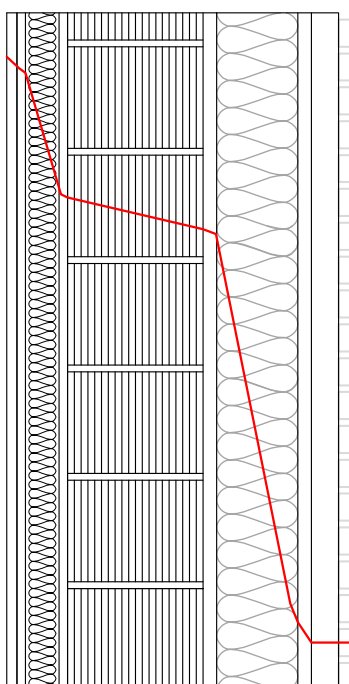
Trasmittanza termica periodica = $0.06 \text{ W/m}^2\text{K}$
 Fattore di attenuazione = 0.25
 Sfasamento = 14 h



1. Intonaco - $R_1: 0.015/0.70 = 0.021 \text{ m}^2\text{K/W}$
2. Lastra cartongesso - $R_2: 0.025/0.25 = 0.10 \text{ m}^2\text{K/W}$
3. Isolante in lana di roccia - $R_3: 0.05/0.037 = 1.35 \text{ m}^2\text{K/W}$
4. Isolante in fibra di legno - $R_5: 0.16/0.038 = 4.21 \text{ m}^2\text{K/W}$
5. Pannello in OSB - $R_6: 0.06/0.13 = 0.46 \text{ m}^2\text{K/W}$

$R_{tot}: 0.021 + 0.10 + 1.35 + 4.21 + 0.46 = 6.141 \text{ m}^2\text{K/W}$
 $U: 1/6.141 = \mathbf{0.162 \text{ W/m}^2\text{K}}$

Trasmittanza termica periodica = $0.04 \text{ W/m}^2\text{K}$
 Fattore di attenuazione = 0.18
 Sfasamento = 16 h



1. Intonaco - $R_1: 0.015/0.70 = 0.021 \text{ m}^2\text{K/W}$
2. Lastra cartongesso - $R_2: 0.025/0.25 = 0.10 \text{ m}^2\text{K/W}$
3. Isolante in lana di roccia - $R_3: 0.05/0.037 = 1.35 \text{ m}^2\text{K/W}$
4. Pannello in CLT - $R_4: 0.1/0.13 = 0.77 \text{ m}^2\text{K/W}$
5. Isolante in fibra di legno - $R_5: 0.14/0.038 = 3.68 \text{ m}^2\text{K/W}$
6. Pannello in OSB - $R_6: 0.04/0.13 = 0.307 \text{ m}^2\text{K/W}$

$R_{tot}: 0.021 + 0.10 + 1.35 + 0.77 + 3.68 + 0.307 = 6.223 \text{ m}^2\text{K/W}$
 $U: 1/6.223 = \mathbf{0.161 \text{ W/m}^2\text{K}}$

Trasmittanza termica periodica = $0.06 \text{ W/m}^2\text{K}$
 Fattore di attenuazione = 0.25
 Sfasamento = 14 h

L'analisi emissiva è stata determinante nella scelta progettuale finale, poiché, mentre i parametri termici mostravano valori molto simili tra le tre pareti, le differenze in termini di CO₂ prodotta erano invece significative. La stratigrafia in CLT si è rivelata la più vantaggiosa, generando un credito di circa 30 kg di CO₂, grazie alla capacità del legno di immagazzinare carbonio durante il proprio ciclo di vita. Al contrario, la parete in laterizio presenta un'emissione di circa 61 kg di CO₂, valore nettamente superiore e legato ai processi energivori di produzione e cottura del materiale ceramico. La parete a telaio leggero in legno si colloca in una posizione intermedia, anch'essa presenta un bilancio negativo, ma meno sfavorevole rispetto al laterizio. Questo risultato è dovuto principalmente alla maggiore quantità di isolante necessario per raggiungere la stessa trasmittanza delle altre soluzioni, mentre nella parete in CLT parte dell'isolamento è sostituito dalla massa del pannello ligneo stesso, riducendo così l'impatto complessivo. In sintesi, se dal punto di vista termico le tre stratigrafie risultano tutte adeguate, è l'analisi delle emissioni di CO₂ a orientare la scelta verso la soluzione in CLT.

I dati relativi all'impronta di carbonio dei materiali da costruzione sono stati estratti dal database ICE (Inventory of Carbon & Energy), sviluppato da Circular Ecology. Il documento, attualmente curato da un team multidisciplinare con il contributo di enti come BCIS e Innovate UK. Le versioni consultate (ICE v4.0 e v4.1) includono valori medi di energia incorporata e emissioni di CO₂ per diverse tipologie di materiali. Il database è stato utilizzato come riferimento tecnico per la stima delle emissioni nel progetto di tesi.

Calcolo della CO₂ generata dalla parete in CLT

1. Intonaco	Fe: 0.158 kgCO ₂ e/kg	ρ: 1600 kg/m ³	Quantità: 0.015 m ³
0.015 x 1600 = 24 kg	24 x 0.158 = 3.792 kgCO ₂ e/kg		
2. Lastra di cartongesso	Fe: 2.5 kgCO ₂ e/kg	ρ: 800 kg/m ³	Quantità: 0.025 m ³
0.025 x 800 = 20 kg	20 x 2.5 = 50 kgCO ₂ e/kg		
3. Isolante in lana di roccia	Fe: 1.4 kgCO ₂ e/kg	ρ: 100 kg/m ³	Quantità: 0.0203 m ³
0.0203 x 100 = 2.03 kg	2.03 x 1.4 = 2.842 kgCO ₂ e/kg		
4. Freno al vapore	Fe: 2.0 kgCO ₂ e/kg	ρ: 920 kg/m ³	Quantità: 0.0030 m ³
0.0030 x 920 = 2.76 kg	2.76 x 2.0 = 5.52 kgCO ₂ e/kg		
5. Pannello di clt	Fe: -1.39 kgCO ₂ e/kg	ρ: 470 kg/m ³	Quantità: 0.1 m ³
0.1 x 470 = 47 kg	47 x -0.1 = -65.33 kgCO ₂ e/kg		
6. Isolante in fibra di legno	Fe: 0.15625 kgCO ₂ e/kg	ρ: 160 kg/m ³	Quantità: 0.127 m ³
0.127 x 160 = 20.32 kg	20.32 x 0.15625 = 3.175 kgCO ₂ e/kg		
7. Pannello in OSB	Fe: -1.05 kgCO ₂ e/kg	ρ: 600 kg/m ³	Quantità: 0.04 m ³
0.04 x 600 = 24 kg	24 x -1.05 = -25.2 kgCO ₂ e/kg		
8. Membrana impermeabile	Fe: 2.5 kgCO ₂ e/kg	ρ: 900 kg/m ³	Quantità: 0.0030 m ³
0.0030 x 900 = 2.7 kg	2.7 x 2.5 = 6.75 kgCO ₂ e/kg		
9. Listelli in legno massiccio	Fe: -1.10 kgCO ₂ e/kg	ρ: 430 kg/m ³	Quantità: 0.0216 m ³
0.0216 x 430 = 9.288 kg	9.288 x -1.10 = -10.2168 kgCO ₂ e/kg		
10. Listelli esterni	Fe: -0.5 kgCO ₂ e/kg	ρ: 430 kg/m ³	Quantità: 0.0104 m ³
0.0104 x 430 = 4.472 kg	4.472 x -0.5 = -2.236 kgCO ₂ e/kg		

Totale di CO₂ prodotta per 1 m² di superficie di parete = **- 30.90 kgCO₂**

Calcolo della CO₂ generata dalla parete in legno leggero a telaio

1. Intonaco	Fe: 0.158 kgCO ₂ e/kg	ρ: 1600 kg/m ³	Quantità: 0.015 m ³
0.015 x 1600 = 24 kg	24 x 0.158 = 3.792 kgCO ₂ e/kg		
2. Lastra di cartongesso	Fe: 2.5 kgCO ₂ e/kg	ρ: 800 kg/m ³	Quantità: 0.025 m ³
140 0.025 x 800 = 20 kg	20 x 2.5 = 50 kgCO ₂ e/kg		

3. Isolante in lana di roccia	Fe: 1.4 kgCO ₂ e/kg	ρ: 100 kg/m ³	Quantità: 0.0203 m ³
0.0203 x 100 = 2.03 kg	2.03 x 1.4 = 2.842 kgCO ₂ e/kg		
4. Freno al vapore	Fe: 2.0 kgCO ₂ e/kg	ρ: 920 kg/m ³	Quantità: 0.0030 m ³
0.0030 x 920 = 2.76 kg	2.76 x 2.0 = 5.52 kgCO ₂ e/kg		
6. Isolante in fibra di legno	Fe: 0.15625 kgCO ₂ e/kg	ρ: 160 kg/m ³	Quantità: 0.1408 m ³
0.1408 x 160 = 22.528 kg	22.528 x 0.15625 = 3.52 kgCO ₂ e/kg		
7. Pannello in OSB	Fe: -1.05 kgCO ₂ e/kg	ρ: 600 kg/m ³	Quantità: 0.06 m ³
0.06 x 600 = 36 kg	36 x -1.05 = -37.8 kgCO ₂ e/kg		
8. Membrana impermeabile	Fe: 2.5 kgCO ₂ e/kg	ρ: 900 kg/m ³	Quantità: 0.0030 m ³
0.0030 x 900 = 2.7 kg	2.7 x 2.5 = 6.75 kgCO ₂ e/kg		
9. Listelli in legno massiccio	Fe: -1.10 kgCO ₂ e/kg	ρ: 430 kg/m ³	Quantità: 0.056 m ³
0.056 x 430 = 24.08 kg	24.08 x -1.10 = -26.488 kgCO ₂ e/kg		
10. Listelli esterni	Fe: -0.5 kgCO ₂ e/kg	ρ: 430 kg/m ³	Quantità: 0.0104 m ³
0.0104 x 430 = 4.472 kg	4.472 x -0.5 = -2.236 kgCO ₂ e/kg		

Totale di CO₂ prodotta per 1 m² di superficie di parete = **5.9 kgCO₂**

Calcolo della CO₂ generata dalla parete in laterizi

1. Intonaco	Fe: 0.158 kgCO ₂ e/kg	ρ: 1600 kg/m ³	Quantità: 0.015 m ³
0.015 x 1600 = 24 kg	24 x 0.158 = 3.792 kgCO ₂ e/kg		
2. Lastra di cartongesso	Fe: 2.5 kgCO ₂ e/kg	ρ: 800 kg/m ³	Quantità: 0.025 m ³
0.025 x 800 = 20 kg	20 x 2.5 = 50 kgCO ₂ e/kg		
3. Isolante in lana di roccia	Fe: 1.4 kgCO ₂ e/kg	ρ: 100 kg/m ³	Quantità: 0.0203 m ³
0.0203 x 100 = 2.03 kg	2.03 x 1.4 = 2.842 kgCO ₂ e/kg		
4. Freno al vapore	Fe: 2.0 kgCO ₂ e/kg	ρ: 920 kg/m ³	Quantità: 0.0030 m ³
0.0030 x 920 = 2.76 kg	2.76 x 2.0 = 5.52 kgCO ₂ e/kg		
6. Isolante in fibra di legno	Fe: 0.15625 kgCO ₂ e/kg	ρ: 160 kg/m ³	Quantità: 0.0984 m ³
0.0984 x 160 = 15.744 kg	15.744 x 0.15625 = 2.46 kgCO ₂ e/kg		
7. Pannello in OSB	Fe: -1.05 kgCO ₂ e/kg	ρ: 600 kg/m ³	Quantità: 0.04 m ³
0.04 x 600 = 24 kg	24 x -1.05 = -25.2 kgCO ₂ e/kg		
8. Membrana impermeabile	Fe: 2.5 kgCO ₂ e/kg	ρ: 900 kg/m ³	Quantità: 0.0030 m ³
0.0030 x 900 = 2.7 kg	2.7 x 2.5 = 6.75 kgCO ₂ e/kg		
9. Listelli in legno massiccio	Fe: -1.10 kgCO ₂ e/kg	ρ: 430 kg/m ³	Quantità: 0.0264 m ³
0.0264 x 430 = 11.352 kg	11.352 x -1.10 = -12.4872 kgCO ₂ e/kg		
10. Listelli esterni	Fe: -0.5 kgCO ₂ e/kg	ρ: 430 kg/m ³	Quantità: 0.0104 m ³
0.0104 x 430 = 4.472 kg	4.472 x -0.5 = -2.236 kgCO ₂ e/kg		
11. Laterizio forato	Fe: 0.213 kgCO ₂ e/kg	ρ: 900 kg/m ³	Quantità: 0.1397 m ³
0.1397 x 900 = 125.73 kg	125.73 x 0.213 = 26.78 kgCO ₂ e/kg		
12. Malta di allettamento	Fe: 0.12 kgCO ₂ e/kg	ρ: 1900 kg/m ³	Quantità: 0.0137 m ³
0.0137 x 1900 = 26.03 kg	26.03 x 0.12 = 3.1236 kgCO ₂ e/kg		

Totale di CO₂ prodotta per 1 m² di superficie di parete = **61.34 kgCO₂**

5.3 Sezioni di dettaglio

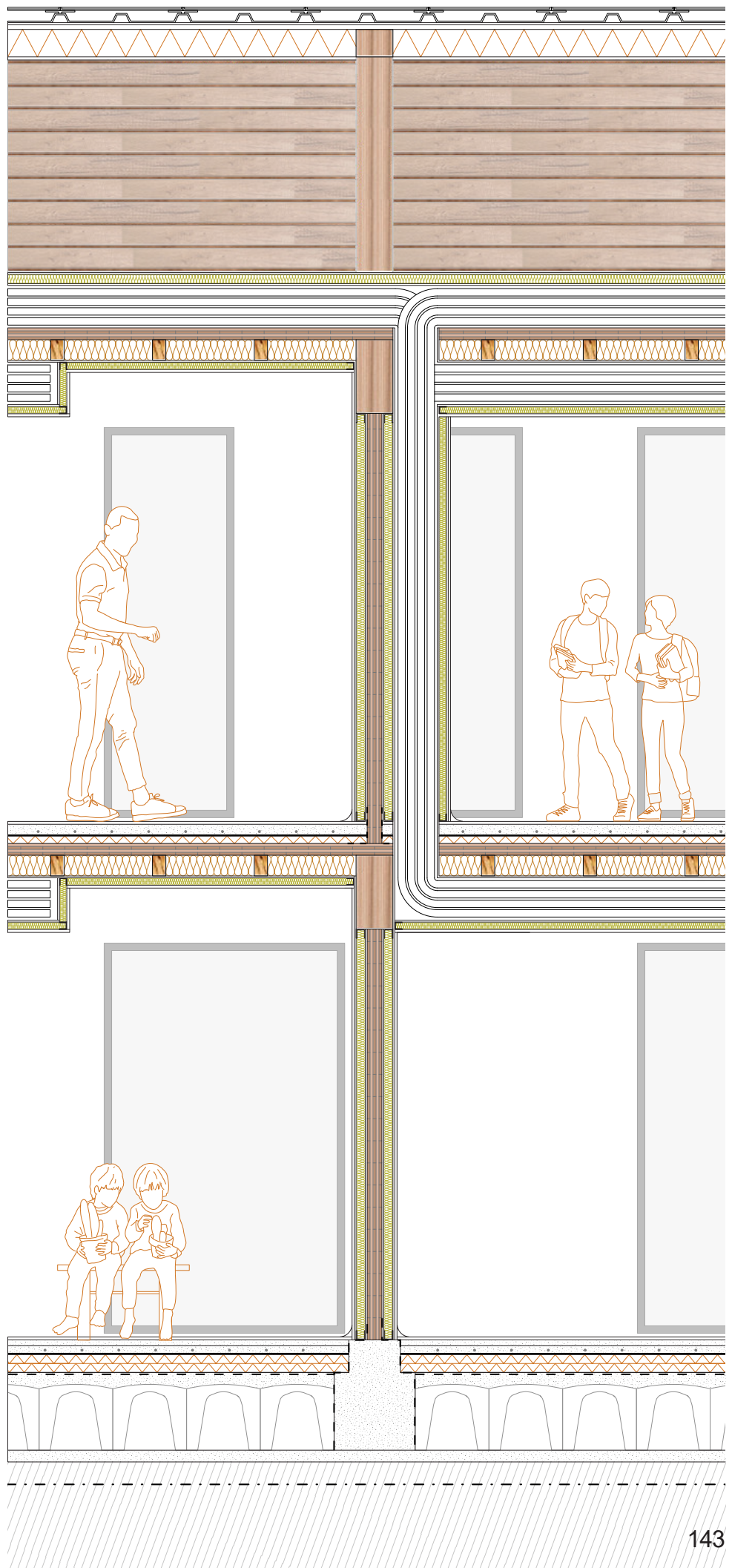
Dopo aver definito la stratigrafia ottimale per le murature esterne, si è passati alla definizione dettagliata di tutte le altre stratigrafie dell'edificio, analizzandole sia dal punto di vista dimensionale sia da quello prestazionale. Per ogni elemento è stata calcolata la trasmittanza termica, così da verificare la conformità ai limiti imposti dalla normativa vigente e garantire un comportamento energetico coerente con gli obiettivi del progetto.

Sono state sviluppate due sezioni di dettaglio che permettono di visualizzare con chiarezza gli spessori principali e la composizione degli elementi costruttivi. Partendo dal primo solaio, quello a diretto contatto con il terreno, si osserva che esso poggia su un letto di inerti provenienti dalla triturazione delle parti demolite del fabbricato originario. Questo strato è a sua volta appoggiato su un magrone in calcestruzzo che funge da basamento per l'intero edificio. Sopra di esso sono stati inseriti i vespai aerati, necessari per garantire un adeguato distacco dal terreno e una corretta ventilazione, seguiti dagli strati di livellamento e di isolamento che definiscono il piano finito. Questo solaio è l'unico elemento non realizzato in legno, poiché la sua funzione di contatto diretto con il terreno richiede materiali più idonei a resistere all'umidità e alle sollecitazioni di base.

Tutti gli altri elementi strutturali dell'edificio sono invece realizzati in legno, in particolare in pannelli di CLT, utilizzati sia per i solai che per le pareti portanti, con spessori e configurazioni differenti a seconda della funzione. Come già avviene per la parete esterna, anche le pareti interne e i controsoffitti sono completati da una controparete in cartongesso riempita con lana di roccia. Questo strato ha una duplice funzione: da un lato permette il passaggio ordinato dei principali servizi impiantistici, in particolare quelli elettrici; dall'altro garantisce una protezione antincendio aggiuntiva agli elementi lignei, aumentando la sicurezza complessiva della struttura.

Nella sezione numero 1 è visibile anche una porzione di controsoffitto con altezza ridotta, necessaria per il passaggio della VMC all'interno delle aule. Sfruttando lo spazio inutilizzato del sottotetto per il condotto principale e prevedendo discese puntuali verso i singoli ambienti, è stato possibile mantenere l'altezza interna delle aule quasi completamente invariata, riducendo l'abbassamento del soffitto a una zona molto limitata in prossimità dell'ingresso.

La sezione numero 2 mostra invece la parete esterna con tutte le stratigrafie e, in continuità, lo sviluppo del prospetto principale della scuola. Questa rappresentazione consente una lettura immediata della composizione della facciata e del rapporto tra gli elementi costruttivi e l'immagine architettonica complessiva.



Solaio a contatto con il terreno

(Dal basso verso l'alto)

- strato di riempimento in inerti - 25 cm - λ : 1.80 W/mK
- magrone di fondazione - 8 cm - λ : 1.40 W/mK
- vespaio areato con soletta in c.a - 55 cm - λ : 2.0 W/mK
- membrana impermeabile antirisalita - 1 cm - λ : 0.17 W/mK
- isolante termico in polistirene estruso - 12 cm - λ : 0.034 W/mK
- massetto impiantistico - 6 cm - λ : 1.40 W/mK
- massetto di livellamento - 4 cm - λ : 1.40 W/mK
- pavimentazione - 1.5 cm - λ : 0.15 W/mK

$$R1 : 0.25 / 1.80 = 1.14 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R2 : 0.08 / 1.40 = 0.057 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R3 : 0.55 / 2.0 = 0.275 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R4 : 0.01 / 0.17 = 0.05 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R5 : 0.12 / 0.034 = 3.53 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R6 : 0.06 / 1.40 = 0.04 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R7 : 0.04 / 1.40 = 0.028 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R8 : 0.015 / 0.15 = 0.1 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_{\text{tot}} = 5.22 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$U : 1/5.22 = \mathbf{0.19} \text{ W/m}^2\text{K} > 0.26 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Solaio secondo piano verso locale non climatizzato

(Dal basso verso l'alto)

- lastra di cartongesso - 1.5 cm - λ : 0.21 W/mK
- struttura metallica con impianti e isolante - 5 cm - λ : 0.036 W/mK
- isolante tra travi secondarie - 14 cm - λ : 0.034 W/mK
- tavolato ligneo in CLT - 8 cm - λ : 0.13 W/mK
- isolante termico in polistirene estruso - 5 cm - λ : 0.034 W/mK

$$R1 : 0.015 / 0.21 = 0.07 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R2 : 0.05 / 0.036 = 1.389 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R3 : 0.14 / 0.034 = 4.11 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R4 : 0.08 / 0.13 = 0.61 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R5 : 0.05 / 0.034 = 1.47 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_{\text{tot}} = 7.649 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$U : 1/7.649 = \mathbf{0.1307} \text{ W/m}^2\text{K} > 0.22 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Copertura

(Dal basso verso l'alto)

- travi principali 25 cm
- travi secondarie - 12 cm
- tavolato ligneo - 2 cm - λ : 0.13 W/mK
- isolante termico in polistirene estruso - 18 cm - λ : 0.034 W/mK
- membrana impermeabilizzante - 0.5 cm - λ : 0.17 W/mK
- orditura secondaria di supporto - 5 cm - λ : 0.18 W/mK
- lamiera grecata - 4.5 cm
- sostegni per pannelli solari - 2 cm
- pannelli solari - 4 cm

$$R1 : 0.02 / 0.13 = 0.153 \text{ m}^2\text{K/W}$$

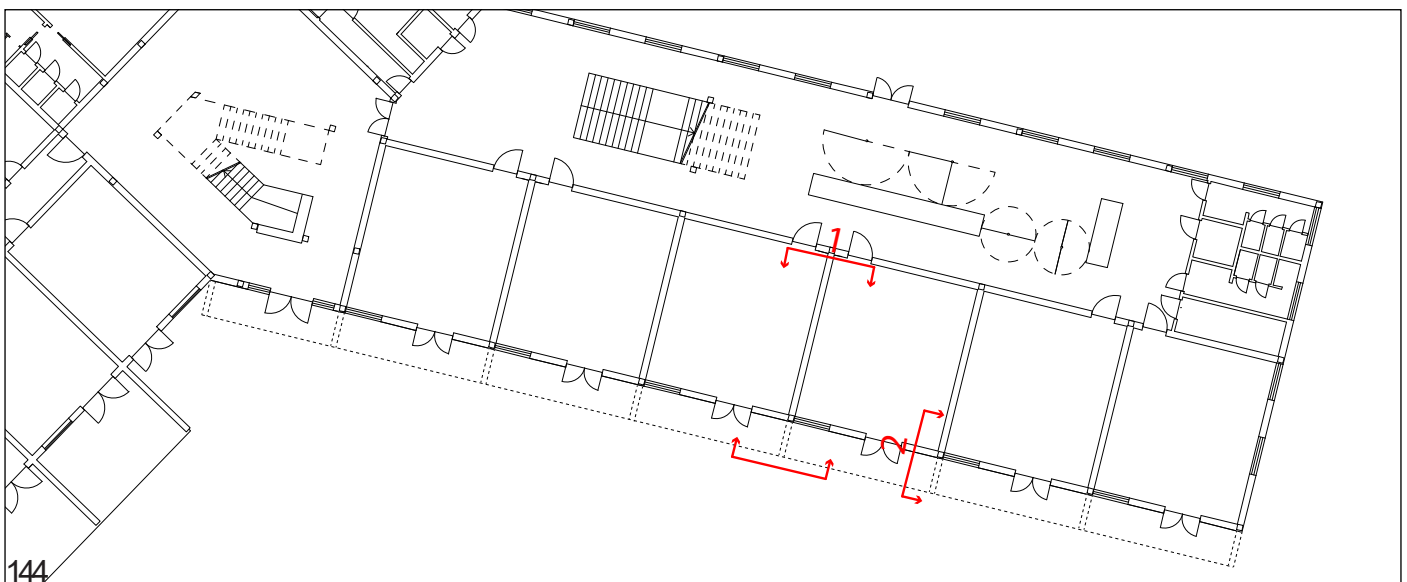
$$R2 : 0.18 / 0.034 = 5.29 \text{ m}^2\text{K/W}$$

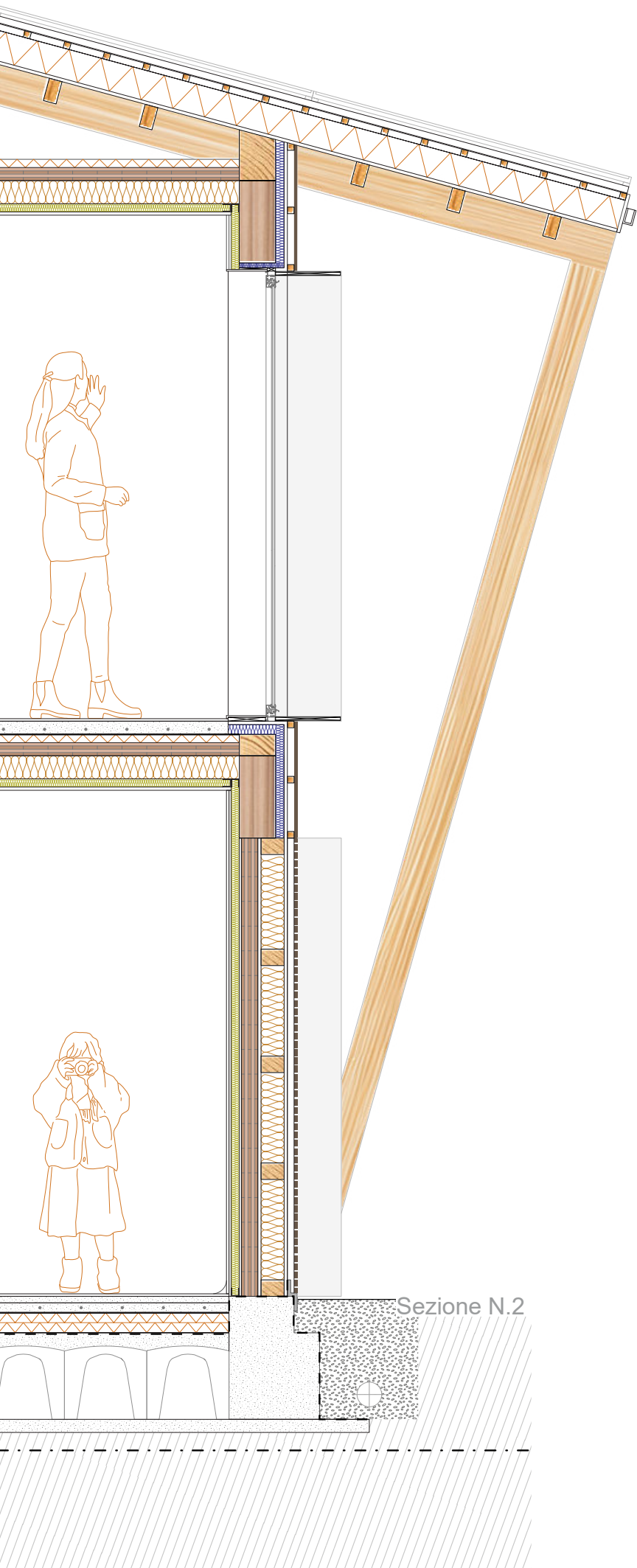
$$R3 : 0.005 / 0.17 = 0.02 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R4 : 0.05 / 0.18 = 0.28 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_{\text{tot}} = 5.743 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$U : 1/5.743 = \mathbf{0.174} \text{ W/m}^2\text{K} > 0.22 \text{ W/m}^2\text{K}$$





Sezione N.2



5.4 Fabbisogno energetico e calcolo dimensionamento energetico

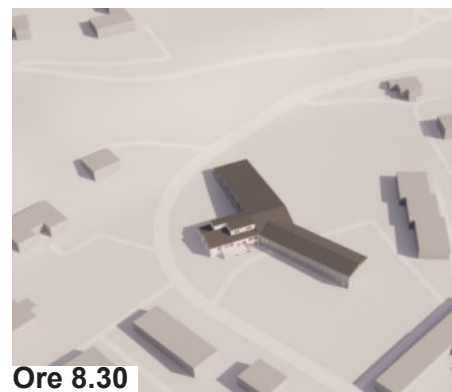
L'edificio scolastico analizzato presenta una superficie utile complessiva pari a circa 3.490 m², costituita da 2.880 m² di scuola primaria e 610 m² di palestra, ed è localizzato nel comune di Ceva (coordinate 44.383759°N, 8.026387°E), ricadente in zona climatica E con 2.781 gradi giorno. L'edificio è progettato come nuova costruzione in legno con involucro altamente performante, caratterizzato da pareti con spessori indicativi di circa 40 cm, copertura coibentata e serramenti basso emissivi, condizioni che consentono di assumere un fabbisogno termico per il riscaldamento pari a circa 25 kWh/m²·anno, valore coerente con edifici scolastici NZEB di nuova generazione. Tale valore porta a un fabbisogno termico annuo per il riscaldamento pari a circa 87.000 kWh/anno.

Il sistema di climatizzazione è affidato a una pompa di calore geotermica con COP medio pari a 4, da cui deriva un consumo elettrico per il riscaldamento di circa 22.000 kWh/anno. Per il raffrescamento estivo, considerando l'elevato livello di isolamento, l'uso prevalentemente diurno degli ambienti, la presenza della ventilazione meccanica controllata e il clima della località, si è assunto un fabbisogno termico pari a circa 8 kWh/m²·anno, corrispondente a circa 28.000 kWh/anno, coperti da pompa di calore reversibile con EER medio pari a 3, per un consumo elettrico di circa 9.000 kWh/anno. A questi valori si sommano i consumi elettrici per illuminazione LED, ventilazione meccanica, apparecchiature informatiche, cucina della mensa e produzione di acqua calda sanitaria per la palestra, stimati complessivamente in circa 115.000 kWh/anno. Il fabbisogno elettrico totale annuo dell'edificio risulta quindi pari a circa 150.000 kWh/anno. Per il dimensionamento dell'impianto fotovoltaico si è considerata la posizione geografica dell'edificio, l'irraggiamento solare tipico della zona di Ceva, l'orientamento della copertura e la geometria della falda disponibile.

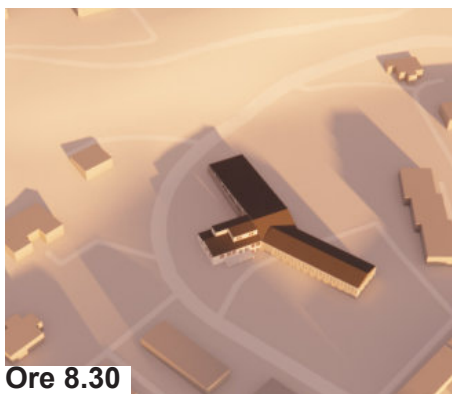
La copertura presenta una falda inclinata di circa 14° ed esposta esattamente a sud, condizione che garantisce un buon apporto solare ma con un'inclinazione inferiore rispetto all'angolo ottimale per massimizzare la produzione annuale (generalmente compreso tra 25° e 35° per la latitudine di Ceva).

L'assenza di ombreggiamenti significativi da edifici, alberature o rilievi consente di assumere una produzione specifica dei moduli fotovoltaici pari a circa 1.100 kWh/kWp·anno, valore coerente con le mappe di irraggiamento del Nord Italia per superfici orientate a sud con inclinazioni comprese tra 10° e 20°. Sulla base di tale produzione specifica, per coprire quasi integralmente il fabbisogno elettrico annuo dell'edificio (circa 150.000 kWh/anno) sarebbe necessaria una potenza fotovoltaica installata pari a circa 136 kWp, corrispondente a una superficie di moduli di circa 880 m², assumendo un valore medio di circa 6,5 m²/kWp comprensivo di distanze, spazi tecnici e perdite geometriche.

21 Giugno 2025



21 Dicembre 2025



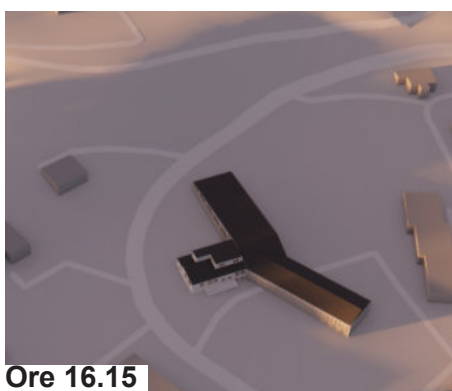
Ore 8.30



Ore 12.00



Ore 15.00



Ore 16.15

Voce	Valore o dato utilizzato	Note o specifiche tecniche
Localizzazione edificio	Ceva (CN), 44.383759°N ; 8.026387° E	Coordinate geografiche
Zona climatica	E	Secondo normativa Italiana
Gradi giorno	2781 GG	Classificazione climatica nazionale
Superficie utile scuola	2880 m ²	Altezza media 3 m
Superficie utile palestra	610 m ²	Altezza media 8.15 m
Superficie totale considerata	3490 m ²	Somma scuola e palestra
Tipologia costruttiva	Chiusure esterna da 40 cm	Edificio il legno lamellare e CLT
Serramenti	U = 0.6 W/m ² k	Chiusure esterna da 40 cm
Copertura	Esposizione a sud con inclinazione di 14 °	Dato di progetto
Ombreggiamenti	Assenti	Verificati con modello generale delle ombre
Rapporto vetrato	Circa il 40 % della facciata	Dato di progetto
Sistema di riscaldamento	Cop = 4	Pompa di calore geotermica
Sistema di raffrescamento	EER = 3	Pompa di calore reversibile
Ventilazione meccanica	Presente	Dato di progetto
Illuminazione	LED	Incluso all'interno della voce "altri usi"
Cucina della mensa	Presente	Carico elettrico significativo
Acqua calda sanitaria	Presente	All'interno della palestra per l'utilizzo delle docce
Fabbisogno termico di riscaldamento specifico	25 kWh/m ² x anno	Valore coerente con edificio NZEB
Fabbisogno termico di riscaldamento totale	87000 kWh/ anno	25 x 3490 m ²
Consumo elettrico riscaldamento	22000 kWh/ anno	87000 / COP 4
Fabbisogno termico di raffrescamento specifico	8 kWh/m ² x anno	Ottimo isolamento e uso diurno
Fabbisogno termico di raffrescamento totale	28000 kWh/ anno	8 x 3490 m ²
Consumo elettrico raffrescamento	9000 kWh/ anno	28000 / EER 3
Altri utilizzi elettrici	115000 kWh/ anno	Illuminazione, VMC, cucina della mensa, apparecchiature
Fabbisogno elettrico totale annuo	150000 kWh/ anno	Somma di tutte le voci
Produzione specifica impianto fotovoltaico	1100 kWh/kWp x anno	Calcolato con utilizzo della latitudine 44° N e con onclinazione della falda
Potenza fotovoltaica necessaria per copertura energetica totale	136 kWp	150000 / 1100
Superficie fotovoltaica necessaria per copertura energetica totale	800 m ²	136 kWp x 6.5 m ² /kWp

5.5 Impianto termico e impianto di ventilazione meccanica

La centrale termica dell'edificio scolastico è organizzata attorno a una pompa di calore geotermica ad alta efficienza, dimensionata per coprire l'intero fabbisogno termico dell'edificio durante la stagione invernale e per la produzione di acqua calda tecnica. Il sistema è alimentato da un campo geotermico composto da 24 sonde verticali, disposte nel terreno con un passo regolare di 5×5 metri. Le sonde costituiscono l'elemento principale dello scambio termico con il sottosuolo: attraverso la circolazione di un fluido termovettore all'interno delle tubazioni, il calore presente nel terreno viene captato e trasferito in modo continuo e stabile alla centrale termica, garantendo un funzionamento affidabile e costante della pompa di calore.

Parallelamente al sistema geotermico, l'edificio è dotato di un impianto di ventilazione meccanica controllata (VMC) progettato per assicurare un ricambio d'aria costante, la filtrazione degli inquinanti interni e il mantenimento di adeguati livelli di comfort e qualità dell'aria nelle aule. Il sistema introduce aria esterna trattata e, contemporaneamente, estrae l'aria viziata, contribuendo alla salubrità degli ambienti didattici e al benessere degli utenti.

L'impianto di ventilazione si sviluppa principalmente nella parte superiore dell'edificio, sfruttando lo spazio disponibile tra le capriate della copertura. In questa zona sono collocati i condotti principali di mandata e ripresa, integrati in modo ordinato con la struttura del tetto per ridurre l'impatto visivo e facilitare le operazioni di manutenzione. Dai canali principali l'aria viene distribuita alle singole aule tramite condotti verticali che discendono lungo le pareti o all'interno di cavedi tecnici dedicati, garantendo portate d'aria uniformi e un'efficiente distribuzione in tutti gli ambienti.

Al piano primo è inoltre previsto un locale tecnico dedicato all'impianto solare fotovoltaico, concepito per ospitare in modo ordinato e sicuro tutti i componenti necessari al funzionamento del sistema, contribuendo così alla produzione di energia rinnovabile e alla riduzione dei consumi complessivi dell'edificio.

Nella rappresentazione grafica degli impianti, gli elementi legati al sistema di riscaldamento sono evidenziati in rosso: in questa colorazione sono tracciate le sonde geotermiche posizionate nel terreno e il vano tecnico che ospita la pompa di calore e gli arrivi delle sonde. In giallo sono invece rappresentati i condotti della VMC, con il loro sviluppo all'interno dei due piani dell'edificio, insieme al locale tecnico dedicato ai componenti per il trattamento e la filtrazione dell'aria. Questa distinzione cromatica permette una lettura immediata e intuitiva dell'organizzazione impiantistica, facilitando la comprensione del funzionamento complessivo del sistema energetico e di ventilazione della scuola.

Planimetria piano terra con il tracciamento dei relativi impianti analizzati



Planimetria piano primo con il tracciamento dei relativi impianti analizzati





5.6 Impianto fotovoltaico

Nel contesto normativo attuale, gli edifici pubblici di nuova costruzione sono soggetti a specifici obblighi di copertura del fabbisogno energetico tramite fonti rinnovabili, come stabilito dal Decreto Legislativo 8 novembre 2021 n. 199, pubblicato in Gazzetta Ufficiale il 30 novembre 2021, che recepisce la Direttiva Europea (UE) 2018/2001, nota come RED II, sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili. Il decreto definisce gli obiettivi nazionali e introduce l'obbligo, per gli edifici pubblici di nuova costruzione, di garantire una quota minima del 65% del fabbisogno energetico complessivo coperto da fonti rinnovabili, includendo in tale quota sia la produzione elettrica da impianti fotovoltaici sia l'energia rinnovabile fornita dalle pompe di calore, che contribuiscono alla quota FER per la parte di energia ambientale recuperata.

Nel caso analizzato, la strategia energetica prevede l'installazione di una pompa di calore geotermica ad alta efficienza, con un COP pari a 4, e un impianto fotovoltaico integrato architettonicamente sulla copertura. La pompa di calore consente di coprire una quota significativa del fabbisogno termico tramite energia rinnovabile: considerando un fabbisogno di riscaldamento pari a 87.000 kWh/anno e un COP di 4, la quota rinnovabile corrisponde al 75% dell'energia termica prodotta, pari a 65.250 kWh/anno; analogamente, per il raffrescamento, con un fabbisogno di 28.000 kWh/anno e un EER pari a 3, la quota rinnovabile è pari a 18.480 kWh/anno. Complessivamente, la pompa di calore contribuisce quindi con 83.730 kWh/anno di energia rinnovabile. A questa componente si aggiunge la produzione dell'impianto fotovoltaico: considerando una superficie installata pari a 470 m² e un rapporto medio di 6,5 m² per kWp, la potenza installabile risulta pari a circa 72 kWp. Utilizzando i dati climatici e di irraggiamento tipici del sito di Ceva, con una produzione specifica pari a 1.100 kWh/kWp·anno, l'impianto fotovoltaico è in grado di generare circa 79.000 kWh/anno. Sommando la quota rinnovabile fornita dalla pompa di calore (83.730 kWh/anno) e quella prodotta dall'impianto fotovoltaico (79.000 kWh/anno), si ottiene un totale di circa 162.730 kWh/anno di energia rinnovabile disponibile.

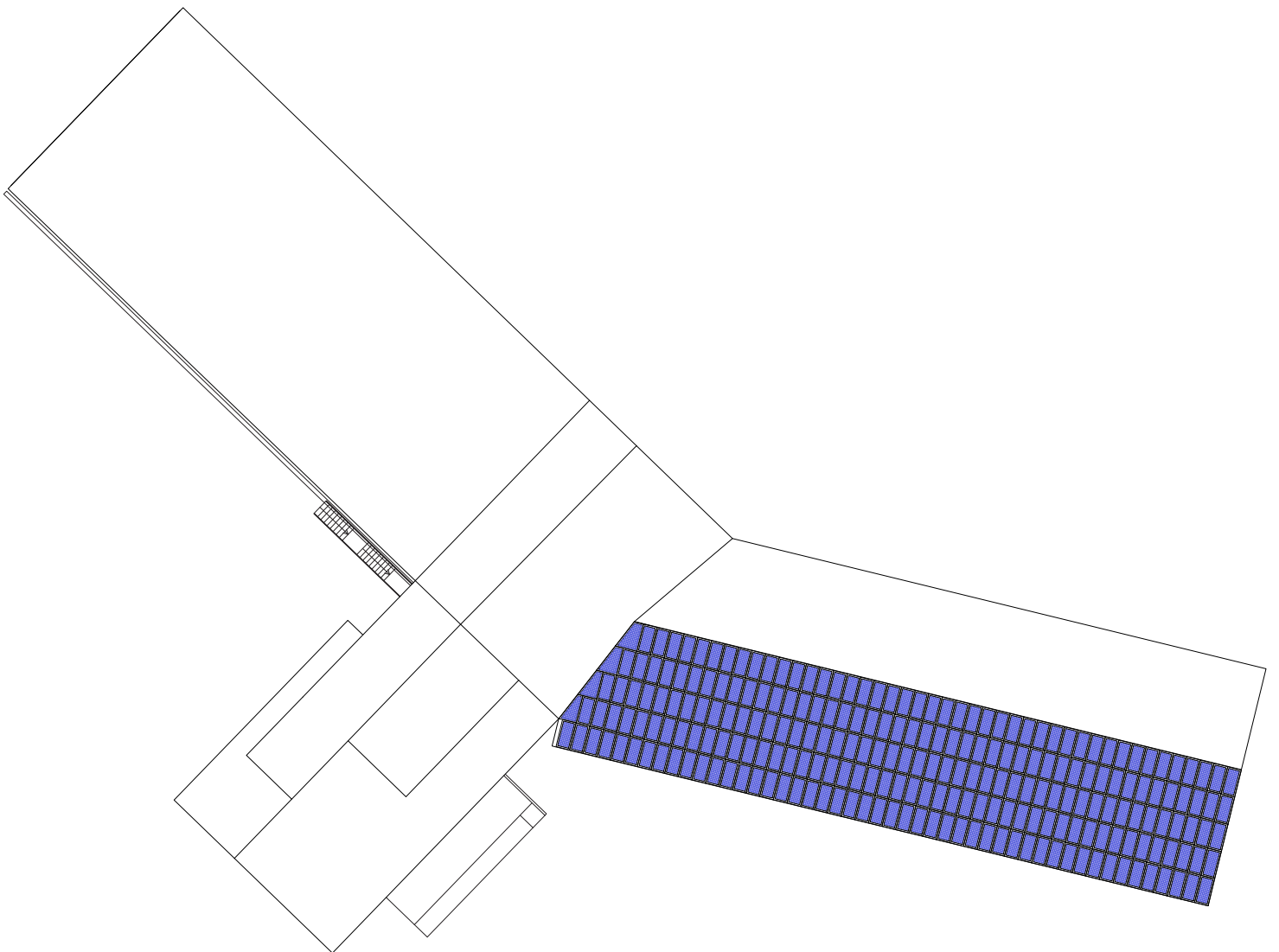
Considerando che il fabbisogno energetico complessivo dell'edificio è pari a 150.000 kWh/anno, la copertura da fonti rinnovabili supera il 100% del fabbisogno, andando ben oltre il requisito minimo del 65% imposto dal D.Lgs. 199/2021. Questo risultato dimostra come la combinazione tra pompa di calore geotermica e un impianto fotovoltaico esteso a 470 m² consenta non solo di rispettare pienamente la normativa vigente, ma anche di configurare la scuola come un edificio altamente sostenibile, caratterizzato da un bilancio energetico estremamente favorevole e da un'integrazione architettonica delle tecnologie rinnovabili coerente con gli obiettivi europei di decarbonizzazione.

Vista in cui si evidenziano in giallo le superfici di copertura maggiormente esposte ai raggi solari



Planimetria delle coperture con tracciamento dell'impianto fotovoltaico





6.1 Viste prospetto sud









6.2 Viste prospetto nord









6.3 Vista aula tipo





6.4 Viste corridoio didattico









$$2 + 3 = ?$$

$$10 - 4 = ?$$

$$5 + 2 = ?$$





7.1 Considerazioni finali

Arrivare alle conclusioni di questo lavoro significa interrogarsi sugli impatti reali e sulle aspirazioni profonde che il progetto porta con sé. Tutto nasce da un edificio che per anni ha rappresentato un punto di riferimento per la comunità, un luogo carico di valore sociale che, per ragioni principalmente burocratiche e gestionali, ha progressivamente perso vitalità senza che vi fosse una reale volontà collettiva di abbandonarlo. A questo si è sommata una trasformazione più ampia della comunità di Ceva, sempre più orientata a rivolgersi verso l'esterno e sempre meno incline a investire nel proprio tessuto urbano. Ne è derivata una lenta diminuzione della vitalità cittadina e della percezione di valore del luogo. Il progetto nasce proprio con l'intenzione di invertire questa tendenza, restituendo dignità e centralità a un edificio che appartiene alla memoria collettiva. L'obiettivo è mostrare come Ceva possieda già, nel proprio patrimonio costruito e nelle proprie relazioni sociali, le risorse per un rinnovamento autentico. La scelta di collocare una nuova scuola primaria in questo luogo non è soltanto una risposta funzionale, ma un atto culturale, la municipalità ha riconosciuto l'opportunità di trasformare un vuoto urbano in un'infrastruttura contemporanea, capace di generare valore e di riattivare dinamiche comunitarie.

Una scuola moderna, progettata secondo i requisiti tecnici attuali, rappresenta infatti un investimento strategico per l'intero territorio. Non si tratta solo di creare nuovi spazi didattici, ma di offrire un polo attrattivo che contrasti la tendenza a rivolgersi esclusivamente ai servizi delle città maggiori. Per questo la struttura è stata pensata come un organismo versatile, aperto a tutte le generazioni, capace di accogliere attività scolastiche e iniziative comunitarie. L'architettura acquista valore quando viene vissuta, e la qualità di un edificio si misura nella sua capacità di rispondere alle esigenze delle persone che lo abitano.

La riattivazione del parco antistante, un tempo animato dagli ospiti della RSA, diventa così un elemento simbolico: riportare bambini e famiglie in questo spazio significa restituire vita al quartiere, generare sicurezza, creare occasioni di incontro. Anche il mercato immobiliare circostante potrebbe beneficiare della presenza di una scuola raggiungibile a piedi, contribuendo a un processo di riqualificazione diffusa.

Dal punto di vista pedagogico, un edificio completamente diverso dalle scuole attualmente presenti sul territorio offre ai bambini un nuovo modo di percepire l'ambiente scolastico: non più un luogo imposto, ma uno spazio capace di stimolare curiosità, creatività e senso di appartenenza. Sul piano tecnico, la costruzione di un edificio conforme alle normative vigenti garantisce alla municipalità costi di gestione e manutenzione più contenuti rispetto agli interventi necessari per mantenere efficienti gli edifici scolastici

storici. La presenza di sistemi antincendio e antisismici aggiornati, l'integrazione tra pompe di calore e impianto fotovoltaico, il riscaldamento radiante a pavimento e la ventilazione meccanica controllata in tutte le aule rappresentano un salto qualitativo significativo, sia in termini di sicurezza sia di comfort ambientale.

Non è stato possibile sviluppare un computo dettagliato dei costi e delle emissioni di CO₂ legate ai materiali, ma la valutazione preliminare ha comunque permesso di individuare la direzione progettuale più sostenibile e meno impattante. L'obiettivo non era definire numeri assoluti, ma comprendere quale approccio potesse garantire il miglior equilibrio tra prestazioni, durabilità e responsabilità ambientale. La maglia strutturale ampia e l'uso di elementi portanti in legno a telaio conferiscono all'edificio una grande flessibilità, facilitando eventuali interventi di manutenzione e rendendo possibile, nel tempo, una riconversione verso funzioni diverse qualora la comunità ne avesse bisogno.

In conclusione, il progetto dimostra come il cambiamento possa nascere da ciò che già esiste, trasformando un edificio dismesso in un'opportunità e non in un vuoto urbano. L'architettura, in questo senso, diventa uno strumento per restituire vita ai luoghi, riportarli al loro potenziale originario o, quando possibile, condurli oltre. La nuova scuola non è solo un edificio, è un gesto di fiducia verso il futuro della città e verso la capacità della comunità di riconoscere e valorizzare le proprie risorse.





Bibliografia

Pepe, D. e Rossetti, M. (2016). *Progetti di scuole innovative*. Prefazione di Norbert Lantschner. Santarcangelo di Romagna: Maggioli Editore.

Hofmeister, S. (2020). *School buildings: spaces for learning and the community*. München: Detail.

Park Associati e Bollinger+Grohmann (2021). *Inlegno: cambiare prospettiva per costruire il futuro*. Siracusa: LetteraVenticinque.

Davoli, P. (2001). *Costruire con il legno: requisiti, criteri progettuali, esecuzione, prestazioni*. Milano: Hoepli.

Meyhöfer, D. (2009). *Legno: Materiali per l'architettura contemporanea*. Milano: Motta Architettura.

Gauzin-Müller, D. (2003). *Legno, i progetti*. Torino: UTET.

Neufert, E. (2001). *Manuale dell'architetto*. 16^a edizione italiana. Milano: Hoepli.

Casabella (2021). *Casabella 932 – Architettura in legno*. Milano: Mondadori.

Leibniz Universität Hannover – Fakultät für Architektur und Landschaft (2025). *Holzimplantat: Entwürfe für Bauflächen in Mönchengladbach*. Hannover: Leibniz Universität Hannover.

Chiesa, G. e Vigliotti, M. (2024). *Comparing mechanical ventilation control strategies for indoor air quality: Monitoring and simulation results of a school building in northern Italy*. Torino: Politecnico di Torino

Cardelli, R. (2023). *Mechanical ventilation for Italian school classrooms*. Tesi di dottorato, Politecnico di Milano.

Iannone, F., Carbonara, G., Rinaldi, A., D'Elia, M. e Dell'Osso, G. (2019). *Building automation system to control natural ventilation in school buildings: The case study of "Michelangelo School" in Bari*. TEMA – Technologies Engineering Materials Architecture

Paparella, R. e Caini, M. (2018). *The project of nZEB school buildings: comparison among building technologies*. Università di Padova

Marique A.F., Rossi B. (2018) *Cradle-to-grave life-cycle assessment within the built environment: Comparison between the refurbishment and the complete reconstruction of an office building in Belgium*. Elsevier

Leichter M. (2025) *Comparative environmental and cost analysis for renovation and reconstruction in multi-family social housing*. Elsevier

Huuhka, S., Moisio, M., Salmio, E., Köliö, A. & Lahdensivu, J. (n.d.) *Renovate or replace? Consequential replacement LCA framework for buildings*. Tampere: Tampere University, School of Architecture.

Lim, H. (2025) *Comparative Life Cycle Assessment of Reconstruction and Renovation for Carbon Reduction in Buildings*. Building MPDI

Bragadin, M.A., D'Alesio, M. & Ferrante, A. (2020) *Nuovi orizzonti per l'architettura sostenibile*. Monfalcone: EdicomEdizioni

Fatiguso, F., Fiorito, F., De Fino, M. & Cantatore, E. (2013) *In transizione: sfide e opportunità per l'ambiente costruito*. Monfalcone: EdicomEdizioni.

Zimmermann, R.K., Barjot, Z., Rasmussen, F.N., Malmqvist, T., Kuittinen, M. & Birgisdottir, H. (2013) *GHG emissions from building renovation versus new-build: incentives from assessment methods*. Department of built environment, Aalborg University, Copenhagen

McGrath, T., Nanukuttan, S., Owens, K., Basheer, M. & Keig, P. (2013) *Retrofit versus new-build house using life-cycle assessment*. Proceedings of the ICE – Engineering Sustainabilit

Holmbom, E. (2021) *Life cycle assessment of a new and renovated building*. Umeå: Umeå University.

Vitale, M. (2022) *La valutazione della sostenibilità degli interventi di riqualificazione energetica degli edifici storici in ottica life cycle*. Torino: Politecnico di Torino, Dipartimento di Architettura e Design, Corso di Laurea Magistrale in Architettura per il Progetto Sostenibile.

Sitografia

Archello (2023). *Primary school with a smart and circular*.
Disponibile su: <https://archello.com/project/primary-school-with-a-smart-and-circular>

Divisare (2016). *Haarlem Primary School – Serge Schoemaker Architects*.
Disponibile su: <https://divisare.com/projects/336080-serge-schoemaker-architects-mwa-hart-nibbrig-haarlem-primary-school>

ArchDaily (2015). *Nursery School and Municipal Workshops / Jean-François Schmit*.
Disponibile su: <https://www.archdaily.com/769090/nursery-school-and-municipal-workshops-jean-francois-schmit>

Domus (2016). *Scuola tedesca a Seoul*.
Disponibile su: https://www.domusweb.it/it/notizie/2016/01/07/daniel_valle_architects_german_school_seoul.html

ArchDaily (2016). *DSSI Elementary School Renovation / Daniel Valle*.
Disponibile su: <https://www.archdaily.com/804022/dssi-elementary-school-renovation-daniel-valle>

Ministero dell'Istruzione e del Merito – PNRR FUTURA (2026). *Nuove Scuole – Progetti e concorsi di progettazione*.
Disponibile su: <https://pnrr.istruzione.it/>

Ministero dell'Istruzione e del Merito (1975). *D.M. 18 dicembre 1975 – Norme tecniche per l'edilizia scolastica*.
Disponibile su: <https://www.miur.gov.it/edilizia-scolastica>

Parlamento Italiano (1996). *Legge 11 gennaio 1996, n. 23 – Norme per l'edilizia scolastica*.
Disponibile su: <https://www.normattiva.it>

Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca (2013). *Decreto Interministeriale 11 aprile 2013 – Linee guida per l'edilizia scolastica*.
Disponibile su: <https://www.miur.gov.it>

Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica (2025). *D.M. 28 ottobre 2025 – Aggiornamento dei requisiti minimi energetici degli edifici*.
Disponibile su: <https://www.gazzettaufficiale.it>

Circular Ecology (2019–2022). *Inventory of Carbon & Energy (ICE) Database, v4.0–v4.1*.
Disponibile su: <https://circularecology.com/embodied-carbon-footprint-database.html>

Ediltecnico (2026). *Edilizia e urbanistica 2026: semplificazioni e bilancio.*

Disponibile su: <https://www.ediltecnico.it>

Archiportale (2026). *Premi IN/ARCHITETTURA 2026 e concorsi di idee.*

Disponibile su: <https://www.archiportale.com>

GuidEdilizia (2025). *Materiali da costruzione sostenibili: innovazioni e tendenze.*

Disponibile su: <https://www.guidaedilizia.it>

INFOBUILD (2025). *Innovazione nei materiali per la decarbonizzazione dell'edilizia.*

Disponibile su: <https://www.infobuild.it>

Dichiarazione di trasparenza per l'utilizzo di AI.

Nella redazione della tesi sono stati utilizzati strumenti di intelligenza artificiale quali Copilot e ChatGpt. Il loro impegno ha riguardato la ricerca preliminare del materiale, la rielaborazione linguistica di alcuni testi prodotti dell'autore e per operazioni grafiche non progettuali, quali l'inserimento delle persone all'interno delle viste renderizzate, prodotte e sviluppate interamente dall'autore. Tutte le scelte progettuali e i contenuti sono stati interamente realizzati e decise dall'autore.